

POSIBLES EFECTOS DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS UTILIZADAS EN LA TELEFONÍA INALÁMBRICA SOBRE LOS SERES VIVOS

Alfonso BALMORI*

SUMMARY.—*Possible effects of the electromagnetic waves used in the wireless telephony on wildlife.* A bibliographical revision of the possible effects of the waves used in the wireless telephony on animals is presented and its impact on wild birds is analyzed. After exposing the technical characteristics and the legal situation of this new technology, the scientific discoveries that could have interest for the study of their effects on the wild fauna are revised. Basing us on the current scientific knowledge the foregone possible consequences for the birds is commented, keeping in mind the deterioration of some ecosystems that they occupy. It is recommended to consider the electromagnetic contamination in the microwaves range like a possible factor of decline of some populations in risk, especially of the urban birds, subjected at more radiation levels. Effects on birds in rural and protected areas that have phone masts near cannot be rejected. Keeping in mind that birds are excellent bioindicators, we stick out the importance of carrying out studies that value the effects of this new type of contamination and some methodologies that could be useful for this purpose are presented.

Key words: bioelectromagnetism, bioindicators, electromagnetic contamination, microwaves, non thermal effects, radiofrecuencias, phone masts, wild birds.

RESUMEN.—*Posibles efectos de las ondas electromagnéticas utilizadas en la telefonía inalámbrica sobre los seres vivos.* Se presenta una revisión bibliográfica sobre los efectos de las ondas utilizadas en la telefonía inalámbrica en los seres vivos y se analiza su posible impacto sobre las aves silvestres. Tras exponer las características técnicas y la situación legal de esta nueva tecnología se revisan los hallazgos científicos que pudieran tener interés para el estudio de sus efectos sobre la fauna silvestre. Basándonos en los conocimientos científicos actuales se comentan las posibles consecuencias para las aves, teniendo en cuenta el deterioro reciente de algunos ecosistemas que ocupan. Se recomienda considerar la contaminación electromagnética en el rango de las microondas como un posible factor de declive de algunas poblaciones de riesgo, especialmente de las aves urbanas, expuestas a mayores niveles de radiación. Tampoco pueden descartarse efectos sobre las aves en áreas rurales o protegidas que cuentan con instalaciones próximas. Teniendo en cuenta que las aves pueden ser excelentes bioindicadores, se resalta la importancia de realizar estudios que valoren los efectos de este nuevo tipo de contaminación y se proponen algunas metodologías que se podrán emplear.

Palabras clave: Antenas de telefonía, aves silvestres, bioelectromagnetismo, bioindicadores, contaminación electromagnética, efectos no térmicos, microondas, radiofrecuencias.

INTRODUCCIÓN

El hombre ha utilizado con frecuencia a los seres vivos para detectar posibles alteraciones en los ecosistemas y en su propia esfera vital. Desde los líquenes, muy sensibles a la contaminación por acumular las sustancias tóxicas en sus tejidos, hasta las aves que viven en jardines y edificios, una amplia gama de organismos han servido como indicadores de la salubridad del hábitat humano.

Características físicas y tecnológicas de la telefonía móvil

Las radiaciones electromagnéticas transmiten pequeños paquetes de energía denominados fotones (Aguilar, 2001). Las radiofrecuencias ocupan el rango entre 10 MHz. y 300 GHz. de frecuencia. Las antenas de telefonía móvil lanzan ondas electromagnéticas con una frecuencia portadora de 900 MHz. para el sistema analógico y de 900 MHz. y 1800 MHz. para el

* C/ Navarra, 1 - 5ºB, E-47007 Valladolid, España. E-mail: abalmori@delfin.retecal.es

sistema digital, generalmente conocidas como microondas (rango aproximado entre 1GHz. y 300 GHz.), pulsadas en frecuencias de audio. Las microondas llevan la información sonora por medio de ráfagas o pulsos de corta duración con pequeñas modulaciones de su frecuencia, que se transfieren entre los teléfonos móviles y las estaciones base.

Una antena de un teléfono móvil irradia en todas las direcciones, mientras la antena de una estación base produce una emisión direccional en forma de lóbulo. Además se forman varios lóbulos secundarios, de menor potencia, que se dirigen hacia los lados y la parte de atrás, en las proximidades de la antena. Las estaciones base de telefonía ordinariamente disponen de tres sectores, con tres antenas, que cubren un ángulo de 120 grados cada una (Santini *et al.*, 2000; Hyland, 2000, 2001; Navarro *et al.*, 2003). La frecuencia utilizada en la corriente alterna de uso doméstico (50-60 Hz.) crea un campo electromagnético, inducido y estático (efecto indeseado) que no se proyecta en el espacio, se desvanece a pocos decímetros de la fuente y desaparece cuando la fuente de energía se desconecta (electrodomésticos de uso cotidiano, cables y transformadores). Por el contrario las antenas de telefonía emiten radiaciones de microondas que viajan alejándose de la fuente, continúan existiendo aunque la fuente se desconecte (Aguilar, 2001) y pueden llegar hasta treinta kilómetros de distancia.

Para una dirección concreta con respecto a la antena, la densidad de potencia en un punto varía de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la fuente emisora. A una distancia de 50 metros de una antena de telefonía la densidad de potencia es de unos $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (Santini *et al.*, 2000), mientras a distancias de 100 metros a nivel del suelo se puede medir todavía por encima de $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (*obs. pers.*). Entre 150 y 200 metros, la densidad de potencia del lóbulo principal cerca del suelo es típicamente de unas décimas de $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ (Hyland, 2000). Por encima de $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ se han sugerido efectos biológicos. La densidad de potencia supera ampliamente este valor en las zonas situadas a menos de 300 metros de las antenas (Haumann *et al.*, 2002).

Las variables utilizadas para medir estas radiaciones son la Densidad de Potencia (medida en Vatios por metro cuadrado: W/m^2 , o en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$), que expresa la potencia radiante que

incide perpendicularmente a una superficie, dividida por el área de la superficie. La Intensidad de Campo Eléctrico en un punto (medido en Voltios por metro: V/m), que es una cantidad vectorial proporcional a la fuerza ejercida sobre una partícula cargada, depende de su posición en el espacio. También se utiliza la Intensidad Resistencia de Campo Magnético, medida en amperios por metro (A/m), y la Densidad del Flujo Magnético, medida en Teslas (T). Para medir los efectos de las emisiones electromagnéticas sobre los tejidos se utiliza la Tasa o Índice de Adsorción Específica, más conocida como SAR (Specific Energy Absorption Rate), que se define como el índice en que la energía es absorbida por unidad de masa de tejido corporal y se mide en Vatios por kilogramo (W/kg). La unidad SAR se ha estandarizado a partir del calentamiento que se produce en un modelo artificial (una masa de plástico esférica llena de una solución salina) inanimado y homogéneo, carente de las propiedades que caracterizan a los seres vivos.

Previamente al despliegue de la telefonía inalámbrica, las emisiones ondulatorias existentes en el rango de las radiofrecuencias tenían su origen en las antenas de radio y televisión, normalmente instaladas a gran altura o alejadas de los núcleos de población. Desde la segunda mitad de los años 90 del pasado siglo se ha realizado el despliegue de la red de estaciones base de telefonía, que ha incrementado en varios órdenes de magnitud la contaminación electromagnética, especialmente en las ciudades, pero también en el campo, cerca de los núcleos rurales y las infraestructuras viarias (*obs. pers.*). Actualmente se están investigando nuevos tipos de antenas para reducir la potencia necesaria para establecer la comunicación (Cooper & Goldberg, 1996; Cooper, 2003).

Mecanismos de actuación sobre los sistemas biológicos

Uno de los efectos más conocidos de las microondas es su capacidad para poner en resonancia las moléculas de agua (dipolos) y otros componentes de los alimentos, provocando una elevación de su temperatura. El grado de calentamiento resultante depende de la intensidad de la radiación y del tiempo de exposición. Para potencias radiantes por encima de $500 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

se producen efectos medibles de calentamiento de los tejidos (hornos microondas), mientras por debajo de ese nivel los efectos se denominan «no térmicos».

La respuesta de un sistema biológico a un campo electromagnético depende de las propiedades intrínsecas del sistema, de las características del campo externo incidente (especialmente de su potencia radiante y su frecuencia), y del medio en el cual se produce el fenómeno (Lin, 1994). Los animales son complejos electroquímicos muy sensibles, que se comunican con su medio a través de impulsos eléctricos. En ellos existen corrientes iónicas y diferencias de potencial eléctrico a través de las membranas celulares y de los fluidos corporales, tanto intra como extracelulares (Heredia-Rojas *et al.*, 2003). Los campos electromagnéticos generados en las estructuras biológicas, están caracterizados por determinadas frecuencias específicas, que pueden verse interferidas por la radiación electromagnética incidente, provocando una inducción y modificando su respuesta (Smith, 1989; Hyland, 2000, 2001). Algunos órganos o sistemas como el cerebro, el corazón y el sistema nervioso, son especialmente sensibles a estas inducciones. Por ejemplo, varios autores han notificado que la baja frecuencia de los pulsos del sistema GSM interfiere con las ondas cerebrales provocando ondas delta, patológicas en personas despiertas (Kramarenko, 2003; Marino *et al.*, 2003).

Los sistemas ondulatorios tienen propiedades, como la frecuencia, que puede afectar por el efecto de resonancia a la capacidad de un organismo vivo para absorber la energía de un campo electromagnético irradiante (Hyland, 2000). Las estructuras biológicas pueden entrar en resonancia con frecuencias concretas, cuando su tamaño se aproxima a la mitad de la longitud de la onda incidente. La radiación de microondas pulsantes de baja intensidad, como las empleadas en la telefonía inalámbrica, puede ejercer influencias en los organismos vivos, porque las longitudes de onda de los sistemas celulares de telefonía (12 a 37 cm.) caen en el rango de tamaño de las estructuras biológicas y por tanto, son capaces de provocar respuestas. La energía absorbida puede ser suficiente para provocar sutiles cambios conformacionales de la arquitectura molecular, provocando alteraciones bioquímicas por alteración de la actividad enzimática (Daniells *et al.*, 1998). Existen

«ventanas de frecuencia» en las que los campos electromagnéticos pueden inducir efectos biológicos (Adey, 1981). Incluso algunos efectos pueden manifestarse a una frecuencia concreta exclusivamente en un rango de intensidades, o después de una cierta duración de la irradiación (Hyland, 1998).

Los seres vivos están expuestos a niveles variables de campos electromagnéticos de radiofrecuencias, según la distancia de las antenas emisoras, la presencia de reemisores pasivos capaces de reflejar las ondas (estructuras metálicas) o de amortiguarlas (edificios), el número de comunicaciones de la estación y su posición con relación a la orientación de la antena (Santini *et al.*, 2000). Hay que tener en cuenta además las características técnicas de la antena, su potencia y ganancia, su altura respecto al suelo, la orientación de haz emisor principal (anchura vertical y horizontal), la localización de los lóbulos secundarios, la altura a la que se encuentra el ser vivo y la topografía local.

Existen normativas internas específicas muy estrictas para los trabajadores que realizan las labores de mantenimiento de las antenas de telefonía, que no pueden permanecer más de seis minutos en las proximidades de una antena en funcionamiento. En las áreas de uso público la influencia térmica de la radiación (calentamiento de los tejidos) por las microondas puede ser descartada, pero no ocurre lo mismo con los efectos no térmicos. La libertad de movimiento de las aves y su costumbre de posarse en las cercanías e incluso sobre las propias estaciones base les hace potencialmente vulnerables a efectos tanto térmicos como no térmicos.

Las microondas tienen el potencial para inducir reacciones adversas para la salud de las personas (Hyland, 2000, 2001; Santini *et al.*, 2002, 2003a, 2003b; Navarro *et al.*, 2003) y para la fauna que vive en las proximidades de las antenas emisoras (Balmori, 2003). Los organismos pequeños son especialmente sensibles, tanto por aproximarse su tamaño a la frecuencia de resonancia, como por el menor espesor de su cráneo, que facilita una mayor penetración de la radiación en el cerebro (Santini, 2000; Hyland, 2001; Maisch, 2003; Balmori, 2003). No se conoce todavía con certeza qué aspecto de la radiación electromagnética es el más importante a la hora de provocar un efecto sobre la salud de un ser vivo en la naturaleza, si el nivel medio de exposición diario,

las exposiciones por encima de cierto valor umbral, o simplemente las variaciones de los campos a los que se le somete (Bardasano & Elorrieta, 2000). Para niveles de potencia por debajo de los recomendados en la conferencia de Salzburgo ($0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$) todavía no se han notificado efectos adversos para la salud. Al alejarnos a más de 300 metros de distancia de las antenas emisoras disminuyen o desaparecen la mayoría de los síntomas notificados en personas (Santini, 2003b).

Situación legal

La Unión Europea en su Recomendación 1999/519/CE (DOCE, 1999), adoptó los niveles de referencia propuestos por la Comisión Internacional para la Protección de las Radiaciones no Ionizantes (ICNIRP) (límite de exposición aceptado para los seres vivos), que son de $450 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ para el sistema GSM (900 MHz.) y de $900 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ para el DCS (1800 MHz.) (ICNIRP, 1998). La norma vigente en España (Real Decreto Ministerio Presidencia 1066/2001) (BOE, 2001), adoptó los criterios de la Recomendación Europea.

A pesar de la evidencia experimental de la existencia de respuestas biológicas a niveles inferiores, las restricciones propuestas por el ICNIRP (1998) protegen exclusivamente de los efectos térmicos a corto plazo. Por esta razón algunos países han adoptado sus propios niveles de referencia, acogiendo al «Principio de Precaución». Italia, en un decreto de 1998, adoptó un límite de potencia de exposición de $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ para GSM (900 MHz.) igual que Hungría, Bulgaria y Polonia. China tiene un límite de $6,6 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Rusia, Suiza, Luxemburgo y Valonia (Bélgica) de $2,4 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Salzburgo (Austria) de $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y Nueva Gales del Sur (Nueva Zelanda) de $0,001 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (Santini, 2000; Balmori, 2003).

Es importante mencionar aquí que con niveles de $0,1 \text{ pW}/\text{cm}^2$ se consigue oficialmente una comunicación exitosa, apta para los requerimientos de cobertura del sistema (Haumann *et al.*, 2002). Esto quiere decir que con niveles de densidad de potencia (de exposición) 4.500 millones de veces más bajos que los autorizados en la actualidad en España, existe suficiente cobertura para que un teléfono móvil funcione.

REVISIÓN DE LOS EFECTOS DE LAS MICROONDAS SOBRE LOS SERES VIVOS.

Desde hace más de 30 años, existe una evidencia creciente de la existencia de efectos biológicos sobre los seres vivos por debajo de los niveles legales (efectos a niveles de potencia en los que no tiene lugar un calentamiento de los tejidos). En el campo de investigación del bioelectromagnetismo, los experimentos se realizan con animales o tejidos vivos, que se someten a las radiaciones emitidas por un teléfono móvil u otra fuente de radiación de microondas durante un cierto tiempo, tomando nota de los posibles efectos. Al finalizar la exposición a las radiaciones se realizan necropsias y análisis de tejidos, células o moléculas. Aunque se ha investigado con una gran variedad de seres vivos, los resultados encontrados en vertebrados tienen especial interés para poder valorar los efectos previsible sobre las aves.

Existen trabajos que no han encontrado efectos observables en los seres vivos, pero otros muchos estudios alertan del peligro de este tipo de radiación, ya que puede interferir con el sistema nervioso y alterar numerosos procesos biológicos (Hyland, 2000, 2001). Existen estudios que muestran cómo los animales expuestos padecen un deterioro de su salud en la vejez de las antenas emisoras (*e.g.* Marks *et al.*, 1995) y algunos de los efectos no térmicos de las microondas sobre las aves se conocen desde hace más de 35 años (Tanner, 1966; Tanner *et al.*, 1967).

En invertebrados sometidos a microondas se ha notificado un incremento de la síntesis de las llamadas «proteínas del estrés», que se sintetizan generalmente cuando las células están expuestas a condiciones ambientales adversas. Este efecto de los campos electromagnéticos ha sido denominado shock no térmico y se obtuvo por exposición de nematodos durante la noche a niveles de radiación inferiores a los autorizados legalmente en España ($\text{SAR} = 0,001 \text{ W/Kg}$,) (De Pomerai *et al.*, 2000) y por exposición de *Drosophyla* durante 10 días a la radiación de un teléfono móvil ($\text{SAR}=1,4 \text{ W/Kg}$) (Weisbrot *et al.*, 2003). Por esta razón los autores sugieren que los límites legales de exposición de los seres vivos deben ser reconsiderados. Otros trabajos no encuentran inducción de proteínas del estrés exponiendo células durante 2 horas a 2.450 MHz. ($\text{SAR} = 25 \text{ W/Kg}$) y a 27

MHz. (SAR = 100 W/Kg; Cleary *et al.*, 1997). La oscilación de la conformación tridimensional de las enzimas, en organismos vivos sometidos a esta radiación, puede afectar a la velocidad de los procesos bioquímicos. Por ejemplo, se ha descrito un incremento de la actividad de la Ornitina Descarboxilasa (Paulraj *et al.*, 1999), tras exponer ratas a una frecuencia de 112 MHz., modulada a 16 Hz., con una potencia de 1 mW/cm² (SAR = 0,75 W/kg.) durante 35 días.

Las ondas electromagnéticas del rango de las radiofrecuencias pueden afectar a la comunicación intercelular y al funcionamiento de los canales de calcio (Dutta *et al.*, 1989) produciendo, por ejemplo, un aumento del flujo de calcio en el cerebro de las ratas expuestas a una frecuencia de 112 MHz., modulada a 16 Hz. con una potencia de 1 mW/cm² (SAR = 0,75 W/kg.) durante 35 días (Paulraj *et al.*, 1999). Otros autores no obtuvieron efectos relevantes sobre la variación en la concentración de calcio intracelular en células cardíacas expuestas a portadoras de 900, 1.300 y 1.800 moduladas a 217 Hz., con un SAR de 1mW/kg., durante 500 segundos (Wolke *et al.*, 1996). También se han descrito interferencias con los procesos inmunitarios en ratones expuestos a frecuencias de microondas en el rango de 8,15-18 GHz. con una densidad de potencia de 1 microW/cm² (Novoselova & Fesenko, 1998). Se han notificado daños en los cromosomas y aneuploidía en linfocitos humanos expuestos a señales emitidas por teléfonos celulares (Mashevich *et al.*, 2003). Algunos autores no han encontrado efectos en linfocitos (Antonopoulos *et al.*, 1997) ni en células de mamíferos expuestas a una radiación de 2.450 MHz. de frecuencia (SAR = 0,7-1,9 W/kg.) durante 2, 4 y 24 horas (Malyapa *et al.*, 1997). Otros trabajos han encontrado efectos genéticos de la microondas sobre hámsters sometidos a radiación de microondas, con una frecuencia de 7,7 GHz y 0,5 mW/cm² de potencia, durante 15, 30 y 60 minutos (Garaj-Vrhovac *et al.*, 1991). El significativo incremento de los micronúcleos en los eritrocitos del ganado que pasta cerca de los transmisores se ha interpretado como un indicio del efecto genotóxico de su exposición (Balode, 1996). También se han observado micronúcleos y una alteración de la división mitótica en trabajadores expuestos a microondas (Garaj-Vrhovac, 1999).

Existe amplia disparidad a la hora de presentar las radiofrecuencias usadas en telefonía móvil como agentes causales de la aparición de tumores. Mientras unos estudios han notificado un aumento del riesgo de padecer tumores cerebrales por los usuarios de teléfonos móviles (Hardell *et al.*, 2002), otros autores no encuentran efectos de las radiofrecuencias en la promoción tumoral (Higashikubo *et al.*, 1999). Se han observado cambios en la proliferación celular como un efecto de la exposición a la señal del sistema GSM a 960 MHz. (Velizarov *et al.*, 1999). Se ha notificado una disminución de la supervivencia de niños con leucemia cerca de antenas de televisión (Hocking & Gordon, 2000), y una reducción significativa del riesgo de leucemia al aumentar la distancia a antenas de televisión (Hocking *et al.*, 1996) o de radio (Michelozzi *et al.*, 1998). En la actualidad los investigadores se decantan por la opinión de que los campos electromagnéticos podrían actuar más bien como promotores que como iniciadores del cáncer; favoreciendo su desarrollo más que induciéndolo directamente (Heredia-Rojas *et al.*, 2003). Recientemente (junio, 2001), el comité de expertos convocado por la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer incluyó los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (los de uso cotidiano de 50-60 Hz.) en la Clasificación de Sustancias Carcinogénicas dentro de la categoría de «posible carcinógeno en humanos» (grupo 2B).

Los campos electromagnéticos de alta frecuencia pueden alterar los sistemas nervioso y endocrino. Se han observado efectos de las microondas emitidas por los teléfonos celulares sobre el sistema nervioso (Khudnitskii *et al.*, 1999; Petrides, 2000) y sobre la función cognitiva (Kolvisto *et al.*, 2000), así como sobre el sueño (Mann & Roschke, 1996) y la respuesta eléctrica cerebral (EEG) (Eulitz *et al.*, 1998; Marino *et al.*, 2003). Estas ondas pueden provocar cefaleas y otras alteraciones del sistema nervioso en humanos (Altpeter *et al.*, 1995). Los conejos que se expusieron a una radiación de microondas de 1,5 GHz. de frecuencia con una potencia de 0,3 mW/cm² mostraron efectos en el hipocampo, pero no en el resto del cerebro estudiado (Grigoriev *et al.*, 1995a). Otros autores no encontraron efectos en el sistema nervioso central (Urban *et al.*, 1998), ni alteraciones del electroencefalograma (EEG) o el sueño (Roschke & Mann, 1997).

Radiaciones de microondas de 1,5 GHz. de frecuencia, con pulsos de 16 ms. de duración y $0,3 \text{ mW/cm}^2$ de potencia, en sesiones de 30 minutos al día durante un mes, produjeron desadaptación, ansiedad y alarma en conejos (Grigoriev *et al.*, 1995b). Los animales de granja, expuestos a la radiación de antenas próximas, mostraron problemas de salud y conspicuos comportamientos aberrantes, que desaparecieron al alejarse de las antenas (Löscher & Käs, 1998). Se ha notificado un déficit de atención junto con trastornos de la función motora, la memoria y el tiempo de reacción en niños que vivieron en las proximidades de una estación de radar (Kolodynski & Kolodynska, 1996) y se ha advertido sobre los posibles riesgos que puede tener la radiación de los teléfonos celulares en el aprendizaje en humanos (Mann & Roschke, 1996), aunque otros estudios no han encontrado efectos en el aprendizaje de las ratas (Sienkiewicz *et al.*, 2000).

La glándula pineal responde a la exposición a determinados campos electromagnéticos con una reducción de la síntesis de melatonina (Olcese, 1990). El descenso de la melatonina puede alterar los ritmos circadianos y favorecer la aparición de depresiones y procesos tumorales (Bardasano & Elorrieta, 2000). Algunos trabajos notifican una disminución de la producción de melatonina en las personas que utilizan teléfonos móviles (Burch *et al.*, 1997). Mientras que otros estudios no encuentran efectos sobre los niveles de melatonina en mamíferos expuestos a las radiaciones utilizadas en telefonía móvil (Vollrath *et al.*, 1997).

Existen estudios que muestran un incremento de la presión arterial y cambios en el ritmo cardíaco de personas laboralmente expuestas a radiofrecuencias (Szmigielski *et al.*, 1998). Aunque otros autores no encuentran efectos en el ritmo cardíaco de personas expuestas a teléfonos celulares mientras duermen (Mann *et al.*, 1998). Algunos trabajos concluyen que los campos electromagnéticos emitidos por las antenas y los teléfonos móviles pueden favorecer la permeabilidad de la barrera hematoencefálica y permitir la entrada de sustancias perjudiciales al cerebro, que dañan las neuronas de las ratas (Salford *et al.*, 2003). Pero otros no encuentran efectos sobre esta barrera fisiológica (Tsurita *et al.*, 2000). También se ha señalado la posibilidad de que los dolores de cabeza, relatados por usuarios de teléfonos móviles,

puedan estar relacionados con este efecto (Frey, 1998).

Se han notificado efectos sobre el sistema urogenital, observándose cambios histológicos y un reducido desarrollo de los túbulos en los testículos de ratas, cuando fueron mantenidas en gran proximidad de teléfonos móviles funcionando (Dasdag *et al.*, 1999). Los mismos autores no encuentran efectos en un estudio posterior (Dasdag *et al.*, 2003). Un estudio griego realizado cerca de un grupo de antenas de radio y televisión (Magras & Xenos, 1997), muestra un progresivo decrecimiento en el número de nacimientos de roedores. Los ratones expuestos a una potencia de $0,168 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ se volvieron estériles tras cinco generaciones, mientras los expuestos a $1,053 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$ alcanzaron la esterilidad después de tres generaciones. Los niveles de radiación de este estudio actualmente se superan en España en los alrededores de las antenas de telefonía y afectan a una gran superficie territorial, tanto en los núcleos de población como en el campo (*obs. pers.*), por lo que podrían afectar a la reproducción de algunas aves silvestres (Balmori, 2003). Se ha obtenido un aumento de la velocidad del ciclo larvario en nematodos expuestos a radiaciones de 750 MHz. de frecuencia, a una densidad de potencia de $0,5 \text{ W/m}^2$ (De Pomerai *et al.*, 1999). Otros estudios no encuentran efectos sobre los embriones de rata expuestas durante 36 horas a radiofrecuencias en un rango de entre 60 y 600 V/m de intensidad de campo (Klug *et al.*, 1997).

La enfermedad de las radiofrecuencias o «síndrome de microondas» es una realidad médica, bastante desconocida, provocada por la exposición a estas ondas (Johnson-Liakouris, 1998; Navarro *et al.*, 2003). Abarca un conjunto de síntomas comunes (dolor de cabeza, fatiga, irritabilidad, pérdida de apetito, trastornos del sueño, depresión, etc.), que se han notificado en estudios epidemiológicos realizados sobre personas que viven en las proximidades de las estaciones base de telefonía. Su aparición aumenta de forma estadísticamente significativa al disminuir la distancia a la fuente emisora (Santini *et al.*, 2001, 2002, 2003a, 2003b) y su severidad está directamente relacionada con la densidad de potencia medida en cada domicilio (Navarro *et al.*, 2003). Estos mismos síntomas se han notificado también en usuarios de teléfonos móviles (Frey,

1998). En un estudio encargado por el gobierno holandés, para valorar el impacto de las antenas de la tercera generación de móviles (UMTS) sobre la salud de las personas (Zwamborn *et al.*, 2003), se encontraron efectos significativos sobre las funciones cognitivas y el bienestar a niveles muy bajos (1 V/m) de Intensidad de Campo.

INVESTIGACIONES REALIZADAS CON AVES

Un estudio realizado exponiendo aves durante 206 días a campos de microondas de 7,06 GHz de frecuencia con potencias entre 0,14 y 1440 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ encontró efectos beneficiosos en la producción de huevos pero se duplicó su mortalidad (Tanner & Romero-Sierra, 1974). Para diferentes frecuencias e intensidades de microondas se obtuvieron efectos reductores de la tasa de crecimiento en pollos y ratas expuestas, además de un descenso de la producción de huevos en gallinas, aumento de la fertilidad, y deterioro de la calidad de la cáscara de los huevos (Krueger *et al.*, 1975). Varios autores han notificado un incremento significativo de la mortalidad embrionaria de pollos expuestos a la radiación de teléfonos móviles en funcionamiento (Farrel *et al.*, 1997; Youbicier-Simo *et al.*, 1998; Grigoriev, 2003) que podría estar afectando a las aves silvestres que viven en las áreas más contaminadas por microondas.

Las radiaciones de un teléfono móvil (900 MHz. moduladas a 217 Hz.) indujeron una respuesta en varios tipos de neuronas del Sistema Nervioso Central de las aves (Beasond & Semm, 2002). Desconocemos todavía si el síndrome de las microondas antes mencionado se manifiesta en las aves, pero en un experimento realizado con gallinas expuestas a una frecuencia de 7,06 GHz., con una potencia entre 0,19 y 360 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ durante 206 días, surgieron problemas de salud y un notorio deterioro del plumaje, mientras las necropsias mostraron leucosis y tumores del sistema nervioso central (Tanner & Romero-Sierra, 1982). Por su parte, Kondra *et al.* (1970) encontraron un incremento en la frecuencia de ovulación de gallinas expuestas a 6 GHz. entre 0,02 y 400 pW/cm^2 de potencia durante periodos entre 56 y 476 días. En trabajos recientes efectuados midiendo los niveles de campo electromagnético en el rango

de las radiofrecuencias, se han observado algunos efectos a corto y largo plazo sobre las aves silvestres urbanas en zonas con elevados niveles de contaminación electromagnética (Balmori, 2003).

POSIBLES EXPLICACIONES DE LOS RESULTADOS CONTRADICTORIOS. DIFICULTADES METODOLÓGICAS DE LOS EXPERIMENTOS Y DE SU INTERPRETACIÓN.

Los experimentos que estudian los efectos de las radiaciones electromagnéticas en los seres vivos son complejos ya que existe un elevado número de variables que se deben controlar. La dificultad de su control dificulta las «condiciones idénticas» necesarias para la replicación. Estas diferencias en los diseños experimentales podrían estar provocando resultados contradictorios (Tanner & Romero-Sierra, 1982).

Las radiaciones de microondas parecen provocar efectos diferentes, e incluso contrarios, dependiendo de planteamientos metodológicos como la frecuencia, potencia, modulación, pulsos, tiempo de exposición, etc. (Grigoriev, 1996; Daniells *et al.*, 1998; Nikolaevich *et al.*, 2001). Experimentalmente se ha detectado, en algunos casos, una dependencia bifásica de los efectos biológicos (efectos biológicos opuestos a baja y a alta intensidad; Nikolaevich *et al.*, 2001). Particularmente dañinas parecen ser las radiaciones con frecuencias coherentes con los procesos biológicos (que tengan gran similitud oscilatoria, por ejemplo, con las ondas cerebrales), ya que pueden confundir la comunicación interna del propio ser vivo. Éste efecto únicamente se podrá detectar en estudios «in vivo». Los estudios de carácter morfológico realizados «in vitro» difícilmente encontrarán modificaciones significativas, ya que las alteraciones inducidas son funcionales y están basadas en el intercambio de cargas y no afectan normalmente a la estructura.

Pequeños campos electromagnéticos provocan cambios químicos, fisiológicos y conductuales solo en algunas ventanas de frecuencia concretas (Adey, 1981). Cada estructura (cráneo, órganos, células, moléculas), puede entrar en resonancia con algunas frecuencias cuando su tamaño se aproxima a la mitad de la longitud de la onda incidente. Algunos estudios han demostrado los diferentes efectos de las microon-

das dependiendo de que su longitud de onda se encuentre en el rango de los milímetros, de los decímetros o de los metros (Kemerov *et al.*, 1999, Nikolaevich *et al.*, 2001).

Las ondas pulsadas (en ráfagas), así como determinadas modulaciones de baja frecuencia, han mostrado una gran actividad biológica (Grigoriev, 1996; Hyland, 2001; Nikolaevich *et al.*, 2001). Las relaciones dosis-respuesta (de los efectos no térmicos), no son sencillas de establecer ya que presentan una relación no lineal (Monteagudo, 1997; Hyland, 2001; Marino *et al.*, 2003) y además los efectos acumulativos dependen de la duración de la exposición (Adey, 1996).

En los estudios sobre los efectos de las radiaciones de telefonía sobre las aves es necesario tener en cuenta la suma de las radiaciones de microondas a las que están expuestas en la vida real, ya que las fuentes de radiación con diferentes frecuencias e intensidades, procedentes de varias antenas, pueden superponerse en un mismo punto. La gran movilidad de las aves, la variación de los tiempos de exposición y las propiedades físicas de las ondas radiantes como la resonancia, las reflexiones o la atenuación por ciertas estructuras, pueden complicar el estudio de sus efectos. Además, la Intensidad de Campo Eléctrico en un punto concreto varía continuamente entre ciertos niveles (*obs. pers.*), dependiendo del número de comunicaciones que soporta la antena, del horario e incluso de la meteorología. Es probable que cada especie e incluso cada individuo, muestre diferente susceptibilidad a las radiaciones, ya que la vulnerabilidad depende de su predisposición genética, y del estado fisiológico y neurológico del ser vivo irradiado (Hyland, 2001; Fedrowitz *et al.*, 2004).

En cuanto al protocolo para efectuar las mediciones, los técnicos todavía no se han puesto de acuerdo, especialmente en lo relativo a la utilización de antenas isotrópicas (que integran las emisiones que se reciben en un punto procedentes de todas las direcciones del espacio) o direccionales (que se orientan hacia la fuente emisora, proporcionando mediciones más concretas de los niveles que se reciben en un determinado lugar, procedentes de un emisor puntual). Ambos métodos ofrecen resultados muy dispares en las mediciones realizadas en el campo a diferentes distancias de las antenas (*obs. pers.*).

POSIBLES EFECTOS SOBRE LAS AVES

La revisión bibliográfica precedente muestra que las radiaciones de microondas pulsadas de telefonía pueden producir efectos especialmente sobre los sistemas nervioso, cardiovascular, inmunitario y reproductor:

- Daños en el sistema nervioso por alteración del electroencefalograma, la modificación de la respuesta neuronal o la permeabilización de la barrera hematoencefálica.
- Alteración de los ritmos circadianos (sueño-vigilia) por interferencias con la glándula pineal y desajustes hormonales.
- Cambios en el ritmo cardíaco y la presión sanguínea.
- Deterioro de la salud y de la inmunidad hacia agentes patógenos, debilidad, agotamiento, deterioro del plumaje y problemas de crecimiento.
- Problemas en la construcción del nido o alteración de la fertilidad, el volumen de puesta, el desarrollo embrionario, el porcentaje de eclosiones o la supervivencia de los pollos.
- Efectos genéticos como malformaciones, problemas de locomoción, albinismos y melanismos parciales, o promoción de tumores.

Las microondas pueden estar afectando negativamente a las poblaciones de aves, en los lugares con elevada contaminación electromagnética. Las aves por poseer sistemas magnéticos de navegación tienen capacidad para percibir los campos magnéticos (Liboff & Jenrow, 2000). Por esta razón podrían evitar activamente estas zonas (Balmori, 2003). Las especies más vulnerables es previsible que sean las que tienen la costumbre de alimentarse, cantar, dormir o instalar el nido en lugares elevados o desprotegidos, como tejados, antenas o cables.

Varios millones de pájaros de 230 especies mueren anualmente por colisiones con las torres de telecomunicaciones en Estados Unidos durante la migración (Shire *et al.*, 2000). Todavía no se conoce la causa concreta de los accidentes, aunque se sabe que se producen especialmente durante las noches de niebla o mal tiempo. Las aves manejan varios sistemas de

orientación: las estrellas, el sol, el conocimiento de la orografía y el campo magnético terrestre (Liboff & Jenrow, 2000). La iluminación de las torres de telecomunicación podría atraer a las aves en la oscuridad, pero también es posible que los accidentes se produzcan en circunstancias de poca visibilidad por una alteración de alguno de los sistemas de navegación (percepción del campo magnético terrestre) por las radiaciones electromagnéticas de las antenas. Se hace necesaria más investigación en este aspecto.

En las áreas más contaminadas por las radiaciones electromagnéticas (radio aproximado de 300-500 metros de una antena, en la dirección de emisión del lóbulo principal), se produce un deterioro del hábitat óptimo para la permanencia de las aves, que puede ocasionar el abandono de las áreas de cría o los dormitorios (Balmori, 2003). Teniendo en cuenta los efectos acumulativos de estas radiaciones (Adey, 1996), el tiempo de permanencia es de gran importancia para valorar los efectos producidos sobre las aves. La contaminación electromagnética no es exclusiva de los núcleos urbanos, puesto que las infraestructuras viarias, montañas o los promontorios en la costa albergan con frecuencia emisores, instalados con el fin de cubrir una gran superficie territorial. Los efectos de las antenas sobre el hábitat de las aves son difíciles de cuantificar, pero podrían ocasionar su deterioro, generando áreas de silencio sin machos cantores ni parejas reproductoras. El impacto sobre el ecosistema podría acentuarse por el efecto de las radiaciones sobre las poblaciones de invertebrados presa y sobre las plantas que reducirían el alimento disponible para las aves (Balmori, 2003).

PROPUESTA DE INVESTIGACIONES

Las aves pueden cumplir un buen papel como bioindicadoras. Su cráneo más delgado, su libertad de movimientos y la utilización de lugares con altos niveles de radiación electromagnética les confiere especial vulnerabilidad. Como futuras líneas de investigación sugerimos realizar seguimientos a largo plazo del éxito de cría, de los dormitorios y de la utilización del hábitat por especies cuyo comportamiento les puede hacer más vulnerables a las ondas.

Para demostrar el efecto concluyente de las radiaciones de telefonía móvil sobre las aves es necesario abordar investigaciones en las que se incluya un grupo control (no expuesto) y otro experimental. Este planteamiento metodológico es complicado en la actualidad, teniendo en cuenta la casi absoluta ubicuidad de estas radiaciones. Los trabajos que intenten correlacionar la evolución numérica o presencia de aves con los resultados de las mediciones de los campos electromagnéticos de radiofrecuencias también pueden ser de gran interés. La investigación de las poblaciones de parques urbanos y de territorios circundantes a instalaciones de telefonía en el campo puede ser prioritaria. Un radio de un kilómetro cuadrado y el trazado de circunferencias concéntricas a distancias intermedias pueden ser útiles para investigar resultados diferenciales entre áreas, dependiendo de su proximidad y de los correspondientes niveles de radiación electromagnética. En estos estudios se deberá tener en cuenta la dirección del lóbulo principal de radiación. También puede ser de gran interés la realización de estudios con aves en cautividad sometidas a microondas en laboratorio.

CONSIDERACIONES FINALES

La contaminación electromagnética por microondas debería ser considerada un agente potencial del descenso de algunas poblaciones de aves. En el Reino Unido, donde la legislación es especialmente permisiva en este aspecto (los niveles permitidos de microondas son 20 veces superiores a los de España), se ha producido en los últimos años un declive acusado de varias especies de aves urbanas (Raven *et al*, 2003). Su coincidencia en el tiempo con el despliegue de la telefonía móvil no tiene porque ser necesariamente una relación causa-efecto, pero la posible relación de ambas circunstancias debería ser investigada. A pesar de que este tipo de contaminación es considerado por algunos expertos como el más novedoso y grave en la actualidad (Hyland, 2001), todavía no se han desarrollado sistemas de inspección y control que eviten sus efectos perniciosos sobre los seres vivos.

Algunos de los mecanismos biológicos de actuación de las radiaciones de microondas todavía son desconocidos, aunque varios efectos

sobre los seres vivos, por debajo de los niveles autorizados actualmente, han sido suficientemente documentados. La industria de telefonía podría estar aprovechando la complejidad de los procesos biológicos y físicos implicados, para tratar de crear un ambiente de inocuidad, negando de forma reiterada la existencia de efectos perjudiciales sobre los seres vivos. Por esta razón los informes relacionados con animales son de especial valor, ya que en este caso no puede alegarse que sus efectos son psicosomáticos (Hyland, 2000).

No deberían existir zonas de uso continuado a la altura de las antenas ni en el interior del haz emisor en un radio de varios centenares de metros. La restricción del acceso a la fauna presenta especial complejidad, razón por la que la reducción de la potencia de emisión de las antenas se presenta como la única solución viable y efectiva para prevenir sus efectos. Muchos investigadores postulan la necesidad de una reducción drástica de los niveles emitidos sobre las personas y los ecosistemas, que es técnicamente viable aunque más costosa para la industria (Hyland, 2001; Haumann *et al.*, 2002). Mientras avanzan las investigaciones, los niveles de exposición de los seres vivos no deberían superar $0,1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ de densidad de potencia, como se ha recomendado en numerosos congresos internacionales y publicaciones. También puede representar un avance la investigación sobre sistemas emisor/receptor de potencias más reducidas que las actuales (Cooper & Golburg, 1996; Cooper, 2003)

La controversia es frecuente cuando desde el mundo científico se reconocen efectos sobre la salud y el medio ambiente que pueden ocasionar grandes pérdidas económicas. El bioelectromagnetismo se encuentra en la frontera entre varias disciplinas alejadas históricamente. Algunos autores sostienen que estamos asistiendo a un cambio de paradigma en biología (Adey, 2003), que rompe con la tradición impuesta desde la física tradicional y las ingenierías que proponían básicamente que las radiaciones no ionizantes no son peligrosas para la vida. Ante el panorama descrito aquí, las investigaciones y seguimientos de la fauna y de otros seres vivos que habitan cerca de las antenas y el apoyo a las mismas por las autoridades medioambientales y sanitarias nos parecen perentorias.

AGRADECIMIENTOS.—M. Díaz, J. J. Sanz y varios revisores anónimos mejoraron con sus comentarios sucesivos manuscritos. César Balmori hizo algunas puntualizaciones técnicas. El Centro de Información y Documentación Ambiental de Castilla y León me facilitó algunos artículos.

BIBLIOGRAFÍA

- ADEY, W. R. 1981. Tissue interactions with non-ionizing electromagnetic fields. *Physiological Review*, 61: 435-514.
- ADEY, W. R. 1996. Bioeffects of mobile communications fields: possible mechanisms for cumulative dose. En, Kuster, Balzano & Lin (Eds.): *Mobile communication safety*, pp. 95-131. Chapman & Hall. London.
- ADEY, W. R. 2003. Electromagnetic fields, the modulation of brain tissue functions- A possible paradigm shift in biology. En, B. Smith & G. Adelman (Eds.): *International Encyclopedia of Neuroscience*. New York.
- AGUILAR, M. 2001. *Bioelectromagnetismo: Campos eléctricos y magnéticos y seres vivos*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- ALTPETER, E. S., KREBS, T. H., PFLUGER, D. H., VON KANEL, J. & BLATTMANN, R. 1995. *Study of health effects of Shortwave Transmitter Station of Schwarzenburg, Berne, Switzerland*. Institute for Social and Preventative Medicine. University of Berne.
- ANTONOPOULOS A, EISENBRANDT H & OBE G. 1997. Effects of high-frequency electromagnetic fields on human lymphocytes in vitro. *Mutation Research*, 395: 209-214.
- BALMORI, A. 2003. Aves y telefonía móvil. Resultados preliminares de los efectos de las ondas electromagnéticas sobre la fauna urbana. *El Ecologista*, 36: 40-42.
- BALODE, S. 1996. Assessment of radio-frequency electromagnetic radiation by the micronucleus test in bovine peripheral erythrocytes. *Science of the Total Environment*, 180: 81-85.
- BARDASANO, J. L. & ELORRIETA, J. I. 2000. *Bioelectromagnetismo. Ciencia y Salud*. McGraw-Hill.
- BEASOND, R. C. & SEMM, P. 2002. Responses of neurons to an amplitude modulated microwave stimulus. *Neuroscience Letters*, 33: 175-178.
- BOE (BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO). 2001. Real Decreto 1066/2001 de 28 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas. BOE, 234: 36217-36227.
- BURCH, J. B., REIF, J. S., PITRAT, C. A., KEELE, T. J. & YOST, M. G. 1997. Cellular telephone use and

- excretion of a urinary melatonin metabolite. *Abstract of the Annual Review of Research on Biological Effects of Electric and Magnetic Fields from the Generation, delivery & Use of Electricity*, San Diego, CA.
- CLEARY, S. F., CAO, G., LIU, L. M., EGGLE, P. M. & SHELTON, K. R. 1997. Stress proteins are not induced in mammalian cells exposed to radiofrequency or microwave radiation. *Bioelectromagnetics*, 18: 499-505.
- COOPER, M. & GOLDBURG, M. 1996. Intelligent Antennas: Spatial Division Multiple. *Annual Review of Communications*, 999-1002.
- COOPER, M. 2003. Antenas adaptables. *Investigación y Ciencia*, 324: 41-47.
- DANIELLS, C., DUCE, I., THOMAS, D., SEWELL, P., TATTERSALL, J. & DE POMERAI, D. 1998. Transgenic nematodes as biomonitors of microwave-induced stress. *Mutation Research*, 399: 55-64.
- DASDAG, S., KETANI, M. A., AKDAG, Z., ERSAY, A. R., SAR, I., DEMIRTAS Ö. C. & CELIK, M. S. 1999. Whole body microwave exposure emitted by cellular phones and testicular function of rats. *Urological Research*, 27: 219-223.
- DASDAG, S., ZULKUF, A. M., AKSEN, F., YILMAZ, F., BASHAN, M., MUTLU, D. M. & SALIH, C. M. 2003. Whole body exposure of rats to microwaves emitted from a cell phone does not affect the testes. *Bioelectromagnetics*, 24: 182-188.
- DE POMERAI, D. I., DANIELLS, C., BARKER, S. L., SCOTT, S., DUCE, I. R., THOMAS, D. W., SEWELL, P. D. & TATTERSALL, J. E. H. 1999. Effects of stress-inducing microwave radiation on lifecycle parameters in the nematode *Caenorhabditis elegans*. Presented at the *Twentieth Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society*, St. Pete Beach, FL.
- DE POMERAI, D., DANIELLS, C., DAVID, H., ALLAN, J., DUCE, I., MUTWAKIL, M., THOMAS, D., SEWELL, P., TATTERSALL, J., JONES, D. & CANDIDO, P. 2000. Non-thermal heat-shock response to microwaves. *Nature*, 405: 417-418.
- DOCE (DIARIO OFICIAL DE LAS COMUNIDADES EUROPEAS). 1999. Recomendación del Consejo de 12 de julio de 1999 relativa a la exposición del público en general a campos electromagnéticos (0 a 300 GHz.). 1999/519/CE.
- DUTTA, S. K., GHOSH, B. & BLACKMAN, C. F. 1989. Radiofrequency radiation-induced calcium ion efflux enhancement from human and other neuroblastoma cells in culture. *Bioelectromagnetics*, 10: 197-202.
- EULITZ, C., ULLSPERGER, P., FREUDE, G. & ELBERT, T. 1998. Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport*, 9: 3229-3232.
- FEDROWITZ, M., KAMINO, K. & LÖSCHER, W. 2004. Significant Differences in the Effects of Magnetic Field Exposure on 7,12 Dimethylbenz(a)anthracene-Induced Mammary Carcinogenesis in Two Substrains of Sprague-Dawley Rats. *Cancer Research*, 64: 243-251.
- FARREL, J. M., LITOVITZ, T. L. & PENAFIEL, M. 1997. The effect of pulsed and sinusoidal magnetic fields on the morphology of developing chick embryos. *Bioelectromagnetics*, 18: 431-438.
- FREY, A. H. 1998: Headaches from cellular telephones: are they real and what are the impacts. *Environmental Health Perspect*, 106: 101-103.
- GARAJ-VRHOVAC, V., HORVAT, D. & KOREN, Z. 1991. The relationship between colony-forming ability, chromosome aberrations and incidence of micronuclei in V79 Chinese hamster cells exposed to microwave radiation. *Mutation Research*, 263: 143-149.
- GARAJ-VRHOVAC, V. 1999. Micronucleus assay and lymphocyte mitotic activity in risk assessment of occupational exposure to microwave radiation. *Chemosphere*, 39: 2301-2312.
- GRIGOR'EV, I. U. G., LUK'ANOVA, S. N., MAKAROV, V. P. & RYNSKOV, V. V. 1995a. Total bioelectric activity of various structures of the brain in low-intensity microwave irradiation. *Radiatsionnaia Biologiya Radioecologiya*, 35: 57-65.
- GRIGOR'EV, I. U. G., LUK'ANOVA, S. N., MAKAROV, V. P., RYNSKOV, V. V. & MOISEVA, N. V. 1995b. Motor activity of rabbits in conditions of chronic low-intensity pulse microwave irradiation. *Radiatsionnaia Biologiya Radioecologiya*, 35: 29-35.
- GRIGOR'EV I. U. G. 1996. Role of modulation in biological effects of electromagnetic radiation. *Radiatsionnaia Biologiya Radioecologiya*, 36: 659-670.
- GRIGOR'EV, I. U. G. 2003. Influence of the electromagnetic field of the mobile phones on chickens embryo, to the evaluation of the dangerousness after the criterion of this mortality. *Journal for Radiation Biology*, 5: 541-544.
- HARDELL, L., HALLQUIST, A., HANSSON, K., CARLBERG, M., PAHLSON, A. & LILJA, A. 2002. Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. *European Journal of Cancer Prevention*, 11: 377-386.
- HAUMANN, T., MÜNZENBERG, U., MAES, W. & SIERCK, P. 2002. HF-Radiation levels of GSM cellular phone towers in residential areas. *2nd International Workshop on Biological effects of EMFS*. October, 2002. Rhodes (Greece) Vol 1: 327-333.
- HEREDIA-ROJAS, L., RODRÍGUEZ-FLORES, M., SANTOYO-STEPHANO, E., CASTAÑEDA-GARZA, A. & RODRÍGUEZ-DE LA FUENTE, A. 2003. Los campos electromagnéticos: ¿Un problema de salud pública?, *Respyn*, 4: 1-10.
- HIGASHIKUBO, R., CULBRETH, V. O., SPITZ, D. R., LA REGINA, M. C., PICKARD, W. F., STRAUBE, W. L., MOROS, E. G. & ROTI, J. L. 1999. Radiofrequency

- electromagnetic fields have no effect on the in vivo proliferation of the 9L brain tumor. *Radiation Research*, 152: 665-671.
- HOCKING, B., GORDON, I. R., GRAIN, H. L. & HATFIELD, G. E. 1996. Cancer incidence and mortality and proximity to TV towers. *Medical Journal of Australia*, 165: 601-605.
- HOCKING, B., GORDON, I. 2000. Decreased survival for childhood leukaemia in proximity to TV towers. Poster presented at the *Annual Scientific Meeting of the Royal Australasian College of Physicians in Adelaide, SA*, 2-5 May 2000.
- HYLAND, G. J. 1998. Non-thermal bioeffects induced by low intensity irradiation of living systems. *Engineering Science and Education Journal*, 7: 261-269.
- HYLAND, G. J. 2000. Physics and biology of mobile telephony. *The Lancet*, 356: 1-8.
- HYLAND, G. J. 2001. *The physiological and environmental effects of non-ionising electromagnetic radiation*. Working document for the STOA Panel. European Parliament. Directorate General for Research.
- ICNIRP (INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION). 1998. Guidelines for limiting Exposure to Time-varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (Up 300 GHz). *Health Physics*, 74: 494-520.
- JOHNSON-LIAKOURIS, A. J. 1998. Radiofrequency Sickness in the Lilienfeld Study: an effect of modulated microwaves. *Archives of Environmental Health*, 53: 236-238.
- KEMEROV, S., MARINKEV, M. & GETOVA, D. 1999. Effects of low-intensity electromagnetic fields on behavioral activity of rats. *Folia Medica*, 41: 75-80.
- KLUG S., HETSCHER M., GILES S., KOHLSMANN S. & KRAMER K. 1997. The lack of effects of nonthermal RF electromagnetic fields on the development of rat embryos grown in culture. *Life Science*, 61: 1789-1802.
- KOIVISTO, M., REVONSUO, A., KRAUSE, C., HAARALA, C., SILLANMAKI, L., LAINE, M. & HAMALAINEN, H. 2000. Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport*, 11: 413-415.
- KOLODYNKI, A. A. & KOLODYNKA, V. V. 1996. Motor and psychological functions of school children living in the area of the Skrunda Radio Location Station in Latvia. *Science of the Total Environment*, 180: 87-93.
- KONDRA, P. A., SMITH, W. K., HODGSON, G. C., BRAG, D. B., GAVORA, J., HAMID, M. A. & BOULANGER, R. J. 1970. Growth and reproduction of chickens subjected to microwave radiation. *Canadian Journal of Animal Science*, 50: 639-644.
- KHUDNITSKII, S. S., MOSHKAREV, E. A. & FOMENKO, T. V. 1999. On the evaluation of the influence of cellular phones on their users. *Meditcina Truda i Promyshlennaia Ekologiya*, 9: 20-24.
- KRAMARENKO, A.V. & TAN U. 2003. Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. *International Journal of Neuroscience*, 113: 1007-1019.
- KRUEGER, W. F., GIAROLA, A. J., BRADLEY, J. W. & SHREKENHAMER, A. 1975. Effects of electromagnetic fields on fecundity in the chicken. *Annals New York Academy of Sciences*, 247: 391-400.
- LIBOFF, A. R., & JENROW, K. A. 2000. New model for the avian magnetic compass. *Bioelectromagnetics*, 21: 555-565.
- LIN, J. C. 1994. *Advances in electromagnetic fields in living systems*. Volume 1. Plenum Press. New York.
- LÖSCHER, W. & KÄS, G. 1998. Conspicuous behavioural abnormalities in a dairy cow herd near a tv and radio transmitting antenna. *Practical Veterinary Surgeon*, 29: 437-444.
- MAGRAS, I. N. & XENOS, T. D. 1997. Radiation-induced changes in the prenatal development of mice. *Bioelectromagnetics*, 18: 455-461.
- MAISCH, D. 2003. Children and mobile phones...Is there a health risk? The case for extra precautions. *Journal of Australasian College of Nutritional and Environmental Medicine*, 22: 3-8.
- MALYAPA, R. S., AHERN, E. W., STRAUBE, W. L., MOROS, E. G., PICKARD, W. F. & ROTI, J. L. 1997. Measurement of DNA damage after exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation. *Radiation Research*, 148: 608-617.
- MANN, K. & ROSCHKLE, J. 1996. Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology*, 33: 41-47.
- MANN, K., ROSCHKE, J., CONNEMANN, B. & BETA, H. 1998. No effects of pulsed highfrequency electromagnetic fields on heart rate variability during human sleep. *Neuropsychobiology*, 38: 251-256.
- MARINO, A. A., NILSEN, E. & FRILLOT, C. 2003. Non-linear changes in brain electrical activity due to cell phone radiation. *Bioelectromagnetics*, 24: 339-346.
- MARKS, T. A., RATKE, C. C. & ENGLISH, W. O. 1995. Strai voltage and developmental, reproductive and other toxicology problems in dogs, cats and cows: a discussion. *Veterinary and Humal Toxicology*, 37: 163-172.
- MASHEVICH, M., FOLKMAN, D., KESAR, A., BARBUL, A., KORENSTEIN, R., JERBY, E. & AVIVI, L. 2003. Exposure of human peripheral blood lymphocytes to electromagnetic fields associated with cellular phones leads to chromosomal instability. *Bioelectromagnetics*, 24: 82-90.
- MICHELOZZI, P., ANCONA, C., FUSCO, D., FORASTIERE, F. & PERUCCI, C. A. 1998. Risk of leukemia and residence near a radio transmitter in Italy. *Epidemiology*, 9: 354.
- MONTEAGUDO, J. L. 1997. Bioelectromagenetismo y salud pública efectos, prevención y tratamiento.

- En, J.L. Bardasano (Ed.): *IBASC*, pp. 201-210. Alcala de Henares.
- NAVARRO, E. A., SEGURA, J., PORTOLÉS, M. & GÓMEZ PERRETTA, C. 2003. The microwave Syndrome: A preliminary Study in Spain. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22: 161-169.
- NIKOLAEVICH, N., IGOREVNA, A. & VASIL, G. 2001. Influence of High-frequency Electromagnetic Radiation at Non-thermal Intensities on the Human Body (A review of work by Russian and Ukrainian researchers). *No place to hide*, 3. Supplement.
- NOVOSELOVA, E. T. & FESENKO, E. E. 1998. Stimulation of production of tumor necrosis factor by murine macrophages when exposed in vivo and in vitro to weak electromagnetic waves in the centimeter range. *Biofizika*, 43: 1132-1133.
- OLCESE, J. M. 1990. The neurobiology of magnetic field detection in rodents. *Progress in Neurobiology*, 35: 325-330.
- PAULRAJ, R., BEHARI, J. & RAO, A. R. 1999. Effect of amplitude modulated RF radiation on calcium ion efflux and ODC activity in chronically exposed rat brain. *Indian Journal of Biochemistry & Biophysics*, 36: 337-340.
- PETRIDES, M. 2000. Exposure to electromagnetic fields by using cellular telephones and its influence on the brain. *Neuroreport*, 15: F 15
- RAVEN, M. J., NOBLE, D. G. & BAILLIE, S. R. 2003. *The Breeding Bird Survey 2002*. BTO Research Report 334. British Trust for Ornithology, Thetford.
- ROSCHKE, J. & MANN, K. 1997. No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 18: 172-176.
- SALFORD, L. G., BRUN, A. E., EBERHARDT, J. L., MALMGREN, L. & PERSSON, B. R. 2003. Nerve cell Damage in Mammalian Brain after Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones. *Environmental Health Perspectives*, 111: 881-893.
- SANTINI, R., SEIGNE, M. & BONHOMME-FAIBRE, L. 2000. Danger des téléphones cellulaires et de leurs stations relais. *Pathologie Biologie*, 48: 525-528.
- SANTINI, R., SANTINI, P., SEIGNE, M. & DANZE, J. M. 2001. Symptômes exprimés par des riverains de stations relais de téléphonie mobile. *La Presse Médicale*, 30: 1594.
- SANTINI, R., SANTINI, P., DANZE, J. M., LE RUZ, P. & SEIGNE, M. 2002. Enquête sur la santé de riverains de stations relais : I. Incidences de la distance et du sexe. *Pathologie Biologie*, 50: 369-373.
- SANTINI, R., SANTINI, P., LE RUZ, P., DANZE, J. M. & SEIGNE, M. 2003a. Survey Study of People Living in the Vicinity of Cellular Phone Base Stations. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 22: 41-49
- SANTINI, R., SANTINI, P., DANZE, J.M., LE RUZ, P. & SEIGNE, M. 2003b. Symptoms experienced by people in vicinity of base stations: II/ Incidences of age, duration of exposure, location of subjects in relation to the antennas and other electromagnetic factors. *Pathologie Biologie*, 51: 412-5.
- SHIRE, G. G., BROWN, K. & WINEGRAD, G. 2000. *Communication Towers: A Deadly Hazard To Birds*. American Bird Conservancy.
- SIENKIEWICZ, Z. J., BLACKWELL, R. P., HAYLOCK, R. G., SAUNDERS, R. D. & COBB, B. L. 2000. Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial learning task in mice. *Bioelectromagnetics*, 21: 151-158.
- SMITH, C. W. & BESE, S. 1989. *Electromagnetic man*. Dent & Sons. London.
- SZMIGIELSKI, S., BORTKIEWICZ, A., GADZICKA, E., ZMYSLONY, M. & KUBACKI, R. 1998. Alteration of diurnal rhythms of blood pressure and heart rate to workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields. *Blood Pressure Monitoring*, 3: 323-330.
- TANNER, J. A. 1966. Effect of microwave radiation on birds. *Nature*, 210: 636.
- TANNER, J. A., ROMERO-SIERRA, C. & DAVIE, S. J. 1967. Non-Thermal Effects of Microwave Radiation On Birds. *Nature*, 216: 1139.
- TANNER, J. A. & ROMERO-SIERRA, C. 1974. Beneficial and harmful growth induced by the action of nonionizing radiation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 238: 171-175
- TANNER, J. A. & ROMERO-SIERRA, C. 1982. The effects of chronic exposure to very low intensity microwave radiation on domestic fowl. *Journal of Bioelectricity*, 1: 195-205
- TSURITA, G., NAGAWA, H., UENO, S., WATANABE, S. & TAKI, M. 2000. Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromagnetics* 21: 364-371.
- URBAN, P., LUKAS, E. & ROTH, Z. 1998. Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? A pilot study. *Central European Journal of Public Health* 6: 288-290.
- VELIZAROV, S., RASKMARK, P. & KWEE, S. 1999. The effects of radiofrequency fields on cell proliferation are non-thermal. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 48: 177-180.
- VOLLRATH, L., SPESSERT, R., KRATZSCH, T., KEINER, M. & HOLLMANN, H. 1997. No short-term effects of high-frequency electromagnetic fields on the mammalian pineal gland. *Bioelectromagnetics*, 18: 376-387.
- WEISBROT, D., LIN, H., YE, L., BLANK, M. & GOODMAN, R. 2003. Effects of mobile phone radiation on reproduction and development in *Drosophila melanogaster*. *Journal of Cellular Biochemistry*, 89: 48-55.
- WOLKE, S., NEIBIG, U., ELSNER, R., GOLLNICK, F. & MEYER, R. 1996. Calcium homeostasis of isolated

- heart muscle cells exposed to pulsed high-frequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics*, 17: 144-153.
- YOUBICIER-SIMO, B. J., LEBECQ, J. C. & BASTIDE, M. 1998. Mortality of chicken embryos exposed to EMFs from mobile phones. Presented at the *Twentieth Annual Meeting of the Bioelectromagnetics Society*, St. Pete Beach, FL.
- ZWAMBORN, A. P., VOSSEN, S. H., LEERSUM, B. J., OWENS, M. A. & MÄKEL, W. N. 2003. Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints. Netherlands Organisation for Applied Scientific Research (TNO).

[Recibido: 28-06-03]
[Aceptado: 01-12-04]