

Polución Electromagnética

Los postes de las emisoras y las líneas de transmisión de energía son elementos comunes en el paisaje de nuestros campos y ciudades. El desarrollo tecnológico durante los últimos 100 años ha cambiado profundamente el ambiente electromagnético natural que ha acompañado la evolución biológica de los seres vivos durante milenios. Sólo parte de las ondas que nos envuelven son de origen natural. El resto es de origen artificial. Escribe **JOSE LUIS MONTEAGUDO**, quien, actualmente, investiga en el Centro Ramón y Cajal la influencia que estos campos electromagnéticos ejercen sobre nuestro entorno.

Desde los descubrimientos de Galvani los sucesivos avances biológicos han puesto de manifiesto el carácter fundamental de los fenómenos eléctricos en las estructuras celulares. Sin embargo hasta hace relativamente pocos años los medios científicos no han prestado atención a la interacción de los campos electromagnéticos con los seres vivos. El uso extensivo de los dispositivos que utilizan energía de radio frecuencia se ha desarrollado con el criterio implícito de la inocuidad de las ondas radiadas. De hecho se ha producido una situación histórica similar a la utilización generalizada de los rayos X antes de reconocerse los peligros de las radiaciones ionizantes.

La población general, y en mayor medida, las concentraciones urbanas, están bajo la acción de emisoras de radiodifusión (AM, FM, TV) y diversos sistemas de comunicación. Los medios de ayuda a la navegación hacen proliferar las estaciones de radar en aplicaciones militares y civiles. El uso extensivo de energía eléctrica distribuida a 50 Hz con líneas de potenciales cada vez más elevados, produce la existencia de un campo nada despreciable.

Ciertos sectores de la población están sometidos a radiaciones de más nivel en razón de su ocupación laboral. Aparte de los profesionales de las comunicaciones, existen usos industriales y hospitalarios donde el personal está expuesto a radiaciones intensas.

La proliferación de nuevos equipos de RF de consumo como los hornos de

microondas y emisoras de 27 MHz, han aumentado considerablemente el número de personas que potencialmente pueden estar bajo la acción de un ambiente electromagnético denso.

FUENTES DE RADIACION NATURAL

La Biosfera está bajo la acción de fuentes naturales de radiación originadas en la propia tierra así como de otras de procedencia cósmica. Es conocida la existencia de campos telúricos con una componente predominantemente magnética. Aparte de las variaciones temporales de muy baja frecuencia existen distorsiones importantes de la componente vertical en las costas y en dislocaciones geológicas.

Algunos estudios revelan la existencia de una corriente eléctrica global entre el océano y la atmósfera que se estima superior a 100 Amp., con los consiguientes campos asociados, que contribuye a una carga neta negativa de las capas altas de la atmósfera de forma que los seres vivos desarrollan su actividad dentro de un gigantesco condensador. Las descargas eléctricas que se producen de forma natural producen campos radiantes con aportación sustantiva al espectro desde las frecuencias extremadamente bajas (ELF) hasta algunos megaherzios.

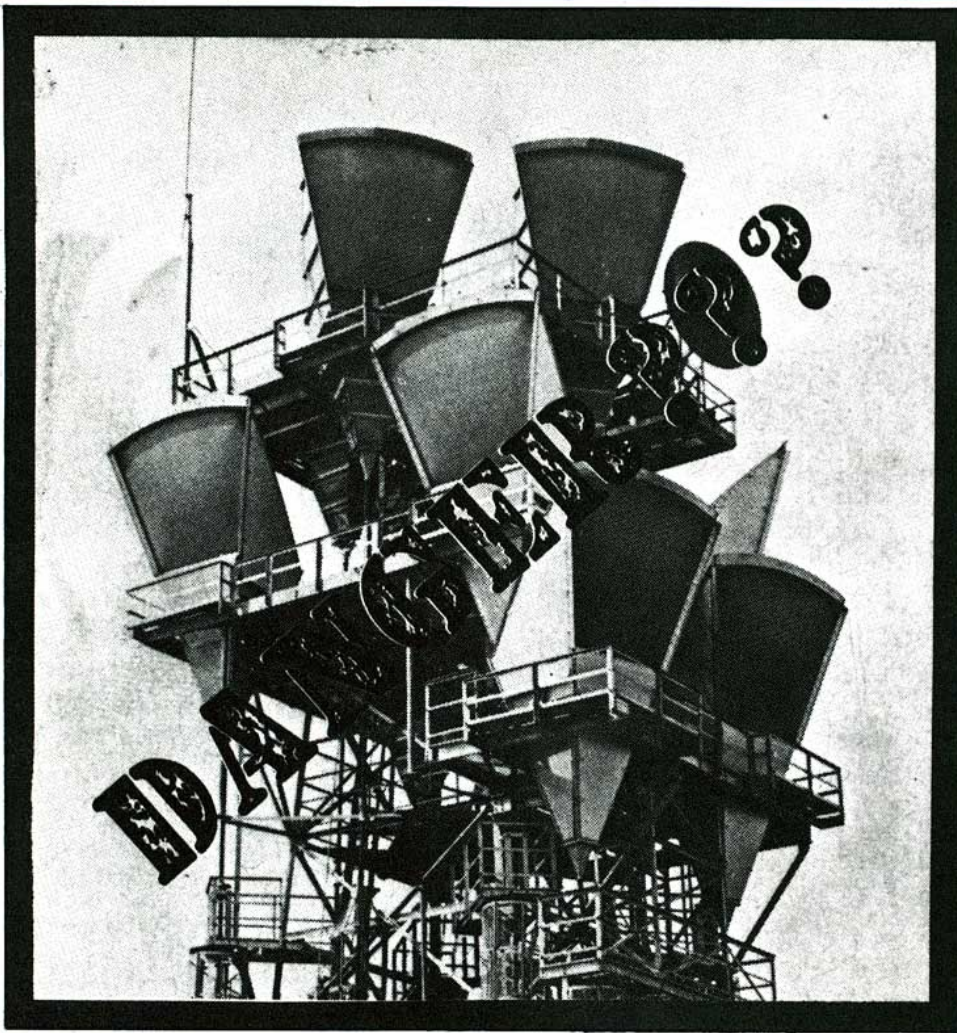
Excepción hecha de las emisiones por gases (con resonancias centradas alrededor de 60 GHz. para el O₂, 22.237 GHz. y 183.3 GHz. para el H₂O y 30.056 GHz. para el O₃) y la radiación tipo sincrotrón de partículas

de alta energía procedentes del espacio exterior atrapadas por el campo geomagnético, la distribución del espectro de potencia obedece la ley de Plank razonablemente bien y se debe a la emisión radiada por el mar, los lagos, las masas forestales y la superficie terrestre en general.

La mayor contribución del espacio exterior es térmica solar con un máximo de algunos $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ para 300 GHz. Los gases interestelares H (1.42 GHz), radicales libres OH (1.666 GHz, 6.033 GHz) y un fondo de radiación cósmica de 3° K constituyen el resto fundamental del espectro recibido sobre la Tierra.

Varias especies animales en su adaptación evolutiva han desarrollado sistemas electromagnéticos de muy alta sensibilidad. Algunos peces poseen órganos sensoriales específicos eléctricos que utilizan para predación; las palomas y ciertas aves migratorias hacen uso del campo magnético terrestre para orientarse y numerosos insectos usan radiación infrarroja y de microondas para comunicarse antes del apareamiento. Cada vez son mayores las evidencias de que los seres vivos desde las bacterias al hombre son sensibles a las variaciones electromagnéticas del medio ambiente natural.

A este respecto son muy ilustrativos los estudios de los geólogos Hays y Opdyke, que analizando los sedimentos marinos han encontrado que en los períodos durante los cuales el campo magnético terrestre invirtió su dirección, murieron una gran cantidad de organismos e incluso se extinguieron algunas



especies marinas.

PERSPECTIVA HISTORICA

Debido a la introducción extensiva del radar durante la II Guerra Mundial, el Laboratorio de Investigación de la Marina de EE.UU., llevó a cabo diversos experimentos para detectar posibles riesgos en el uso de las microondas. Los resultados fueron negativos y después de la contienda, el uso de las microondas y de los equipos de RF en general se extendieron al sector Civil. Sin embargo, en 1948, varios investigadores de la Clínica Mayo descubrieron la formación de cataratas en perros.

Simultáneamente laboratorios soviéticos pusieron de manifiesto síntomas neurológicos en trabajadores expuestos a radiación EM. Hacia 1953, McLaughlin, descubrió cuadros patológicos en operadores de estaciones de radar.

Ante estas evidencias el ejército americano inició en 1956, un programa de investigación (Tri-Services Program). La responsabilidad de establecer una norma recayó en un comité de la ANSI presidido por el Dr. Schwan y bajo el patrocinio de la Navy y del IEEE.

Diez años después en 1956, se confirmaba el nivel de 10 mW/cm^2 como norma, sin fuerza legal, para el sector civil. Esta cifra se justificó en base a experimentos que mostraban la no aparición de cataratas ni efectos reproductivos para exposiciones de hasta 500 mW/cm^2 .

Sin embargo, simultáneamente los investigadores rusos llegaban a conclusiones muy diferentes.

Los estudios realizados en la Unión Soviética en la década de los 50, constataron, que exposiciones prolongadas en campos tan bajos como 1 mW/cm^2 (63 V/m), podrían inducir efectos perniciosos en los seres vivos.

Los estudios subsiguientes durante los 60, llevaron a deducir que incluso valores de $50 \mu\text{W/cm}^2$ (14 V/m) producían diversos efectos en animales. Ya en 1958, la Unión Soviética propuso una norma para la población laboral que establecía un nivel de $10 \mu\text{W/cm}^2$ (6.3 V/m) en la banda de 30-300 MHz, y por lo tanto mil veces inferior al recomendado en EE.UU. Además la norma hacía referencia a la duración y frecuencia de la radiación. A consecuencia de la detección de alteraciones neurológicas entre los trabajadores en líneas de energía de 50 Hz se limitaba el nivel de

exposición en campos superiores a 5 KV/m .

Aunque estos estudios eran públicos y conocidos en el mundo occidental, no fueron tenidos en cuenta, y la investigación de los efectos biológicos de los campos electromagnéticos fue prácticamente nula una vez finalizado el Tri-Service Program.

La fuerte discrepancia en el establecimiento de los niveles máximos tolerables, refleja la diferencia en los métodos de investigación y los criterios de análisis entre los laboratorios americanos y rusos.

Las investigaciones soviéticas, siguiendo una fuerte tradición pauloviana, dirigieron sus experimentos a la detección de cambios funcionales psicológicos y conductuales, ampliándolos posteriormente al sistema nervioso y teniendo en cuenta los posibles efectos sobre amplias capas de la población (epidemiología).

Por el contrario, los trabajos de U.S.A. estuvieron condicionados a criterios reduccionistas de observación física o bioquímica. De hecho el criterio fundamental de riesgo se centraba en los efectos térmicos, considerando la inexistencia de efectos biológicos en niveles "no térmicos". A pesar de la evidencia de los trabajos espectaculares de Frey sobre efectos auditivos de fuentes pulsadas de microondas a baja potencia, Schwan, impuso su criterio de la imposibilidad de que niveles de FR "no térmicos" pudieran afectar al sistema nervioso basándose en una demostración teórica sobre el modelo clásico de transmisión del impulso nervioso.

El letargo americano se vio sorprendido, cuando los servicios de inteligencia detectaron que entre octubre de 1965 y enero de 1966, la Embajada Americana en Moscú estaba siendo "bombardeada" con haces de microondas moduladas en frecuencia con señales ELF, y con potencias entre 10 y $15 \mu\text{W/cm}^2$. Estos valores eran superiores a los permitidos por la normativa rusa, pero muy inferiores a los límites considerados seguros por los propios americanos.

A raíz de este incidente, el gobierno de los EE.UU., inició un proyecto secreto (Pandora) para estudiar los posibles efectos biológicos de la radiación de bajo nivel. Este proyecto finalizó en 1971, sin ningún resultado claro y con una gran controversia entre distintos científicos

A partir de 1965, hubo un notable aumento de la investigación en centros

privados U.S.A. que han ido acumulando más evidencias sobre efectos de radiaciones de bajo nivel, y en algún caso han logrado reproducir varios de los experimentos relatados por los laboratorios rusos.

El volumen de investigación siguió siendo notablemente superior en los países del Este y concretamente en la Unión Soviética que en base a sus últimos descubrimientos propusieron para la población civil una norma aún más estricta que para los trabajadores, rebajándola a $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ para algunas frecuencias.

En 1974, una revisión de la norma ANSI (EE.UU.) reafirmó el nivel de $10 \text{ mW}/\text{cm}^2$, pero una segunda revisión completada en 1979, ha considerado conveniente a $1 \text{ mW}/\text{cm}^2$. En cualquier caso sigue siendo cien veces superior al valor tolerado en la URSS para la población laboral y mil veces al propuesto y últimamente confirmado para la población general.

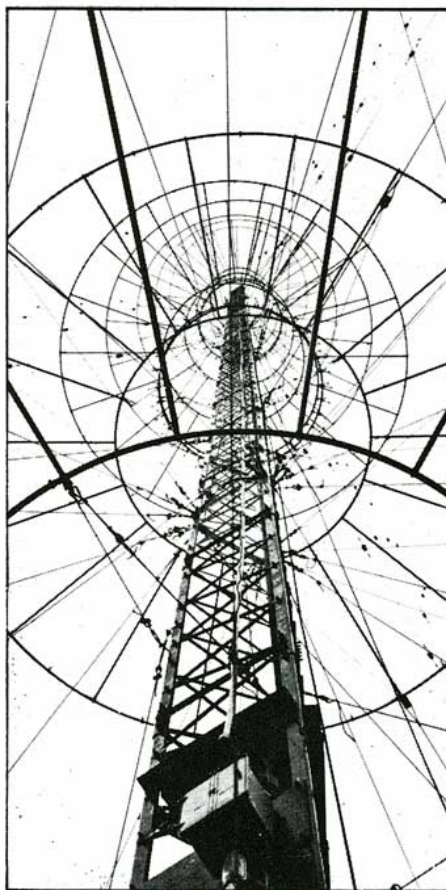
Por su parte, los chinos abogan un nivel de $50 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, para todo el espectro sin que nos sean conocidos trabajos científicos en que basen esta decisión.

CAMPOS ASOCIADOS A SISTEMAS DE COMUNICACION

La U.S. Environmental Protection Agency (EPA), ha recogido durante los tres últimos años datos sobre la intensidad de campos de señales de radiodifusión en 486 puntos de medida distribuidos en 15 grandes ciudades de EE.UU. Los resultados muestran que la mitad de la población está expuesta a una densidad media superior a $0.005 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ y que el 1 % está potencialmente sometida a niveles que rebasan $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ (el nivel de seguridad sugerido en la URSS). Extrapolando estos datos a nuestro país, en una ciudad como Madrid o Barcelona, alrededor de 20.000 personas estarían por encima de los valores que los rusos consideran seguros para su población.

Por su parte la Bell System, ha iniciado el pasado año un estudio sobre los niveles de energía EM polucionante asociada con varios sistemas de radiocomunicación típicos de la explotación telefónica, operando en alguna banda discreta entre 1 MHz y 11 GHz.

Las intensidades máximas de campo eléctrico en los radioenlaces de alta frecuencia (1–30 MHz, 30 KW) en áreas accesibles al personal operador fueron menores de 36 V/m.



En el caso de sistemas de propagación troposférica (0.8 a 2 GHz, 2 KW), se encontraron densidades de potencia inferiores a $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Se debe observar que estos resultados corresponden a sistemas de baja potencia.

No obstante se indica que las medidas realizadas en las salas de radio localizadas en las plantas superiores de los edificios de las oficinas centrales metropolitanas, superan los $10 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ aduciendo que estos valores no se deben al propio equipo de la sala, sino a emisores externos de radiodifusión con antenas situadas en el techo de los edificios próximos.

Los campos medidos a pie de antena son muy elevados, especialmente en los complejos emisores con varios postes y emitiendo simultáneamente varias bandas. En una torre FM/TV de 330 ms. en Suecia, con 18 KW para tres canales de FM (90–100 MHz) y 6 KW para TV 9196 MHz), K.J. Mild, reconoce que no pudo realizar determinaciones precisas con equipos convencionales de medida ya que los campos excedían los valores de fondo de escala para E (1.000 V/m) y H (3 A/m). Cerca de los cables de alimentación los campos medidos fueron de 400 V/m y 2.3 A/m.

Normalmente los cables discurren junto a la escala que debe usar el personal de mantenimiento que se puede ver sometido a campos fortísimos. En otro trabajo Tell ha

medido dentro de la estructura de una torre de 40 KW de FM en Mount Wilson (California) campos de 800 V/m.

Es evidente que si se realizan tareas de mantenimiento en antenas trabajando normalmente, el personal técnico se puede encontrar en situaciones que violan severamente los niveles recomendados por las normas. Sería recomendable el uso de medidores de campos portátiles que ayuden al personal operador y de servicio a detectar niveles de exposición potencialmente peligrosos.

FOCOS DE RADIACION EN LA INDUSTRIA

Los campos electromagnéticos se aplican en la industria en procesos de calentamiento usando un amplio margen de frecuencia. Los calentadores de inducción se utilizan en fundición, forja, refino y soldaduras de metales, haciendo uso de las corrientes eddy producidas en los materiales conductivos cuando se aplica un campo magnético variable. Este tipo de equipos trabaja normalmente desde 50 Hz hasta cerca de 10 KHz con corrientes en la bobina inductora que superan los 5.000 A. Las dimensiones físicas son reducidas (10–20 cm.) y las manos de los operadores pueden recibir exposiciones de campo magnético de 25 mT, si bien los valores más normales no sobrepasan 1 mT.

El calentamiento en dieléctrico fue introducido hacia 1940, con generadores de 125 KW operando a 1650 KHz en la industria del mueble. Hoy día se trabaja preferentemente en las bandas de 13.56, 27.12 y 40.68 MHz, y con potencias entre 0.25 y 25 KW. La potencia total de las máquinas instaladas supera la de las emisoras de radiodifusión en todo el mundo. La mayoría de las máquinas de calentamiento en dieléctrico se utilizan en la soldadura de plásticos. En este tipo de operación los electrodos no suelen estar apantallados para permitir el seguimiento visual del proceso. Esto produce altos niveles de radiación indeseada en la proximidad de la máquina. Investigaciones recientes realizadas en Suecia y EE.UU., ponen de manifiesto que la mayoría de las máquinas en uso producen radiación superior a la normal ANSI de 200 V/m ó 0.5 A/m.

Por otra parte la red de alimentación, es una antena efectiva a estas frecuencias y los campos re-radiados superan los 500 V/m en la proximidad de los cables. Superficies metálicas próximas como racks, carros, estanterías, etc., pueden

actuar como focos secundarios de emision.

RF EN MEDICINA

Hace más de cincuenta años que campos EM de alta frecuencia se vienen utilizando con fines terapéuticos. Los equipos de diatermia más difundidos utilizan onda corta (27 MHz) o microondas (2450 MHz). Ya en 1935, fueron observados síndromes neurasténicos en el personal operador, y en 1954, el Dr. J.M. van Went, introdujo la norma de 2 mts. de separación como medida de seguridad.

Las intensidades de campo radiado no deseable dependen del tipo de electrodo usado, dándose el peor caso con cápsulas de cristal. A 80 cm. de los electrodos se miden campos de 430 V/m y 1.2 A/m correspondientes a una densidad de potencia alcanza los 5 W/m². Si el fisioterapeuta ajusta la posición del electrodo con el equipo funcionando la exposición puede llegar a los 2.000 V/m y 5 A/m en las manos.

El personal auxiliar y de mantenimiento está expuesto también a dosis elevadas. Si se quita la tapa posterior de un equipo de onda corta, los campos en la superficie descubierta llegan a 1.000 V/m y 3 A/m. Es práctica normal entre los técnicos de mantenimiento verificar la potencia de salida observando el calor desarrollado sobre una de sus manos, sometiéndose en este caso a campos de 40.000 V/m y 1.000 A/m.

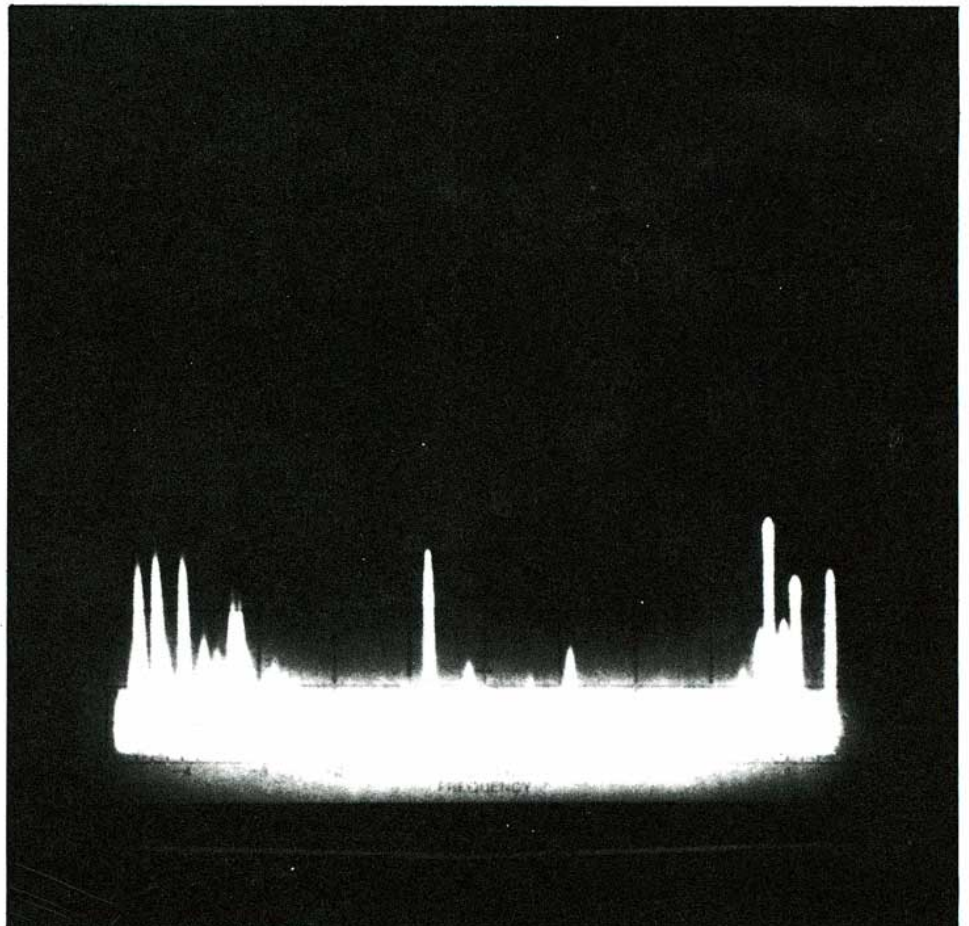
Los aparatos de diatermia por microondas también tienen niveles altos de fugas. A 2 metros de distancia de la entrada se puede medir 100 W/m² en el foco principal.

En los últimos años se ha generalizado el uso de electrobisturías que utilizan energía de RF para corte y coagulación. La banda de frecuencias utilizadas varía de 300 KHz a 10 MHz, en onda continua o modulada dependiendo del modo de trabajo. Los cirujanos manejan un electrodo activo que desarrolla hasta 1.000 W., en algunos casos. En nuestra experiencia personal hemos medido niveles muy altos de fugas de radiación capaces de producir quemaduras en pacientes y en el personal sanitario.

Actualmente se está introduciendo equipos de hipertermia para tratamiento de cancer trabajando a 13.56, 27.12, 40.68, 915 y 2.450 MHz, con potencias radiadas del orden de 0.25 W/m².

T A B L A I
VALORES DE INTENSIDADES DE LA R.F. TERMICAMENTE IMPORTANTE
PARA VARIOS ANIMALES

FRECUENCIA	ANIMAL	INTENSIDAD	MINUTOS EXPOSICION	NOTAS
50 Hz.	Ratón	650.000 V/m	270	50 % Mortalid.
50 - 500 Hz.	Ratón	650.000 V/m	60 - 120	70 - 90 % Mortalidad
500 KHz.	Ratas Conejos	8.000 V/m 160 A/m	----- -----	Umbral de aumento de la temperatura rectal
14.88 MHz.	Rata	9.000 V/m	10	100 % Mortalid.
	Rata	5.000 V/m	100	80 % Mortalid.
	Rata	4.000 V/m	100	25 % Mortalid.
69.7 MHz.	Rata	5.000 V/m	5	100 % Mortalid.
	Rata	2.000 V/m	100	83 % Mortalid.
200 MHz.	Perro	300 mW/cm ²	15	50 % Mortalid.
	Perro	200 mW/cm ²	21	25 % Mortalid.
200 MHz.	Cerdo Guinea	590 mW/cm ²	20	67 % Mortalid.
	Cerdo "	410 mW/cm ²	20	100 % Mortalid.
	Cerdo "	330 mW/cm ²	20	100 % Mortalid.
200 MHz.	Conejo	165 mW/cm ²	30	100 % Mortalid.



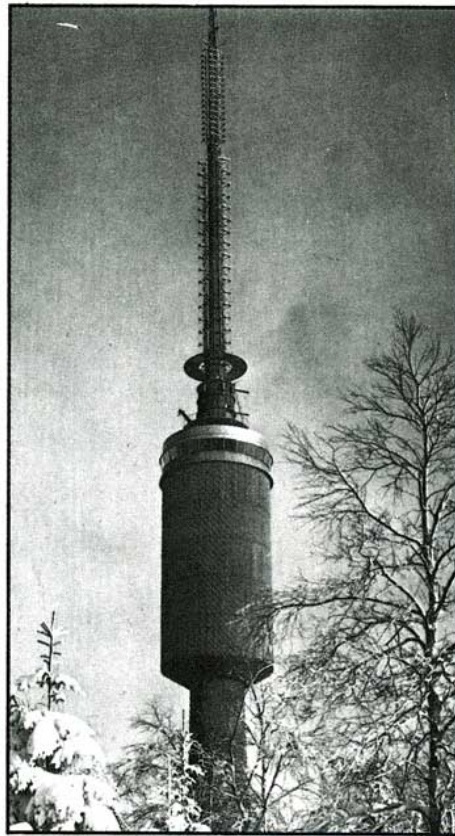
OTRAS FUENTES ARTIFICIALES

El uso de la energía EM continúa en incesante expansión. La disponibilidad de emisores portátiles a bajo costo ha producido un crecimiento espectacular de usuarios públicos (policía, ambulancias, aeropuertos) y privados, especialmente en la banda de 27 MHz.

Los hornos de microondas está produciendo serias discusiones acerca de las normas aplicables y de su supervisión.

La industria eléctrica considera inminente la instalación de líneas de alta tensión de 765 KV. lo que ha puesto en marcha en EE.UU. nuevos estudios para delimitar posibles riesgos.

Otro proyecto que ha suscitado un intenso programa de investigación, es la instalación en Michigan de una estación ELF para comunicación con submarinos nucleares a 76 Hz. La antena consiste en un gran bucle de 100 Km. enterrado en el suelo incluyendo todo el habitat natural.



ALGUNAS CONSIDERACIONES

El estado actual de las normas internacionales pone en evidencia el estado incipiente del conocimiento sobre el tema. A parte de la notable discrepancia en los niveles tolerados, un análisis crítico revela lagunas notables. En general los niveles de densidad de potencia permanecen constantes para todo el espectro a pesar de que varios resultados experimentales como los encontrados en nuestro laboratorio demuestran que la misma densidad de potencia produce efectos diferenciados a distintas frecuencias.

Por otra parte y salvo algunas excepciones, no se hace mención al tipo de modulación ignorando la evidencia de una mayor efectividad de las ondas pulsadas.

Finalmente, la componente magnética asociada con la onda electromagnética ha recibido muy poca atención, estudiándose tan solo los efectos del campo eléctrico. Sin embargo valores tan bajos como el del mismo campo magnético terrestre (0.5 gauss), influye en varias especies biológicas (bacterias, planarias, caracoles, salamandras, palomas, etc.) y experimentos recientes realizados en el Departamento de Investigación del C.E. "Ramón y Cajal", demuestran una interacción con fenómenos celulares básicos a niveles aún inferiores.

La falta actual de conocimiento acerca de los efectos a largo plazo implica la necesidad de interpretar las normas existentes con sumo cuidado y estudiar los ambientes electromagnéticos en previsión de efectos perniciosos.

Existe un acuerdo general de que es necesaria una investigación más profunda antes de emitir conclusiones definitivas, y de que aún se está lejos de conocer todos los mecanismos de interacción electro-magnética con las estructuras celulares.

La investigación de estos mecanismos puede aportar además herramientas poderosas para aplicaciones clínicas y desarrollo general de la Biología. ■

TABLA II

NIVELES DE EXPOSICION MAXIMO RECOMENDADOS PARA HUMANOS

PAIS Y FUENTE	FRECUENCIA	NIVEL MAXIMO	CONDICIONES
U.S.A. (ANSI)	10 MHz-100 GHz	10 mW/cm ² 1 mW h/cm	Períodos de 0.1 hora. Media período de 0.1 hora.
U.S. Army and Air Force	-----	10 mW/cm ² 10 a 100 mW/cm ²	-----
Gran Bretaña (P.O.)	30 MHz-30 GHz	100 mW/cm ² 10 mW/cm ²	Media para 8 horas continuas
OTAN (1965)	-----	0.5 mW/cm ²	-----
Canadá	10 MHz-100 GHz	1 mWh/cm ²	-----
Polonia	300 MHz	10 μW/cm ²	8 horas/día
	300 MHz	100 μW/cm ²	2 a 3 horas/día
	300 MHz	1 mW/cm ²	15 a 20 m/día
R.D. Alemania	-----	10 mW/cm ²	-----
URSS	0.1-1.5 MHz	20 V/m	-----
	1.5-30 MHz	5 A/m 20 V/m	-----
	30-300 MHz	5 V/m 10 μW/cm ²	6 horas/día
	300 MHz	100 μW/cm ² 1 mW/cm ²	2 horas/día 15 m/día
Checoslovaquia	0.01-300 MHz	10 V/m	8 horas/día
	300 MHz	25 μW/cm ² 10 μW/cm ²	8 h/día, o.c. 8 h/día, o.p.