

(#171). CAMPOS ELÉCTRICOS EN BAJA FRECUENCIA Y SALUD

[MONOTEMA] Los efectos sobre la salud de los campos eléctricos han sido mucho menos estudiados que los efectos producidos por los campos magnéticos. Una de las razones es que el campo eléctrico normalmente sólo tiene valores importantes cuando estamos al aire libre, ya que cuando nos encontramos en recintos cerrados o hay materiales con conductividad eléctrica entre nosotros y el campo, éste disminuye en su intensidad.

Aunque la literatura es mucho más limitada, hay también evidencias que indican la potencial peligrosidad de la exposición a campos eléctricos cercanos a una línea de alta tensión.

Relación con el gas radón

El radón es un **gas radiactivo** emitido por la desintegración normal de los elementos químicos uranio, torio y radio en las rocas y en la tierra. El radón se descompone rápidamente y desprende pequeñas partículas radiactivas. Al ser inhaladas, estas partículas radiactivas pueden dañar las células que recubren los pulmones. La exposición a largo plazo al radón puede resultar en cáncer de pulmón, el único tipo de cáncer que se ha comprobado está asociado con la inhalación de radón. Es la segunda causa principal de cáncer de pulmón en Estados Unidos. Los científicos calculan que cada año de 15000 a 22000 muertes por cáncer de pulmón en los Estados Unidos se relacionan con el radón (www.cancer.gov).

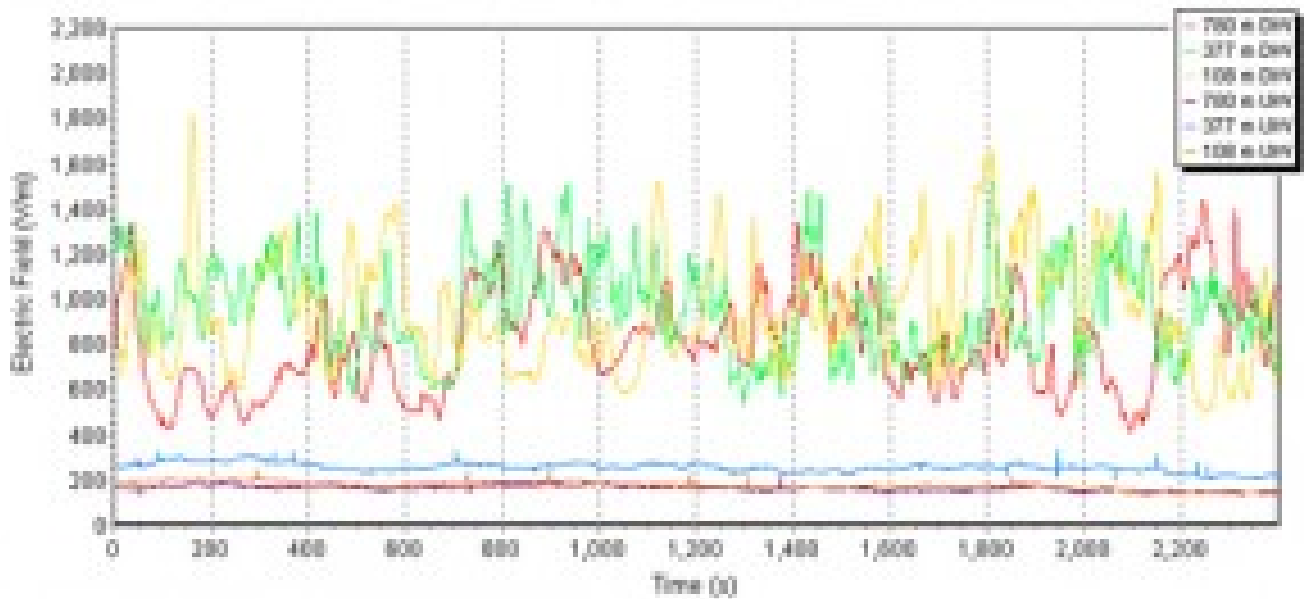
El radón se desintegra dando lugar a varios descendientes de vida corta, isótopos de polonio, bismuto o plomo. Esos radionucleidos se pueden añadir a partículas de aerosol existentes en la atmósfera. Fews et al. (1999) estudiaron el

comportamiento de aerosoles que llevaban radionucleidos de la descomposición de radón en el exterior en presencia de líneas de alta tensión. A través de un experimento con superficies que simulaban la cabeza humana, esos autores encontraron que la deposición de esos aerosoles sobre esas superficies era mayor bajo líneas de alta tensión de 400 kV y 275 kV, y también sobre la línea de 132 kV, aunque en este caso no se llegaba a la significación estadística.

Efecto corona

Aparece cuando hay conductividad de un gas en las inmediaciones de un conductor que transporta alta tensión, debido a la ionización del aire. Genera ozono e iones. Según Henshaw et al. (2008), las torres de alta tensión generan penachos (masa de aire con contaminantes sólidos) que son arrastrados por el viento a decenas de metros de distancia generando variaciones en el campo eléctrico atmosférico (que es un campo estacionario) que pueden llegar a ser de varios cientos de V/m. Estos autores hipotetizan que este hecho puede producir interrupciones en la segregación de la melatonina y en los ritmos circadianos.

Las líneas de alta tensión generan iones de oxígeno y nitrógeno, y también electrones. Esos iones se adhieren a las partículas de polución del aire y se incrementa la carga de esas partículas. Henshaw et al. (2008) indican que esas masas de aire con contaminantes cargados pueden ser llevados a varios kilómetros de la línea de alta tensión. Al respirar esas partículas, algunas de ellas se depositan en los pulmones y pasan al torrente sanguíneo. La siguiente figura muestra las variaciones en el campo eléctrico atmosférico a diferentes distancias de una línea de 400 kV, en función también de la dirección del viento. Como puede apreciarse, con el viento a favor las fluctuaciones y los valores del campo eléctrico son mucho mayores.



Variación del campo eléctrico atmosférico de una línea de 400 kV a favor del viento (DW) y en contra del viento (UW) (Henshaw et al., 2008).

Henshaw et al. (2008) plantean que esas variaciones en el campo eléctrico pueden producir **efectos sobre la segregación de la melatonina y el ritmo circadiano**, y esto sería una de las posibles explicaciones de que la epidemiología encuentre una asociación entre la leucemia infantil y la cercanía a las líneas de alta tensión.

Los efectos de los campos eléctricos estáticos pueden potenciar los daños producidos por la radiación ionizante, al menos se han mostrado resultados en este sentido en cultivos celulares (cianobacterias). Así, Arrude-Neto et al. (2009) encontraron que la exposición a un campo eléctrico estático de 2000 V/m seguido de radiación ionizante incrementaba sustancialmente la muerte celular comparado con la exposición solamente a la radiación ionizante. Los autores sugieren también que probablemente **el campo eléctrico suprime la activación de los procesos de reparación celular**.

Según Belmonte (2005), mediciones llevadas a cabo en líneas de alta tensión de 132 kV señalan que, a 1,80 m. de altura, hay

un 20% de aerosoles contaminantes que están cargados o llevan exceso de carga. Como media, este efecto se extiende a unos 200 m de la línea en dirección del viento y en líneas de 275 kV, hasta 500 m. García (2015), además, advierte lo siguiente:

“el efecto corona se produce partir de los 21,1 KV/cm (rms) o 29,8 KV, bajo condiciones estándares de 760 mm de Hg y 20º C. Hay que tener en cuenta la generación de ozono troposférico alrededor de la línea y la subestación, consecuencia de la ionización del aire producida por el efecto corona. El Real Decreto 1796/2003, de 26 de diciembre, relativo al ozono en el aire ambiente establece un valor límite para la protección de la salud de 120 µg/m³ en ocho horas. La Organización Mundial de la Salud ha rebajado este valor límite a 100 µg/m³. El R.D. 1796/2003 establece también un valor objetivo para la protección de la vegetación basado en el parámetro AOT40, calculada a partir de valores horarios de mayo a julio. El ozono troposférico puede provocar daños en la vegetación y cultivos a partir de unos 30 ppb (partes por billón)”.

Javaratne et al. (2015) comentan un estudio realizado en Australia donde sobre 41 líneas aéreas de alta tensión, el 76% de ellas tenían concentraciones de iones y partículas cargadas superiores a la media, y el 25% de ellas tenían concentraciones dos veces mayores.

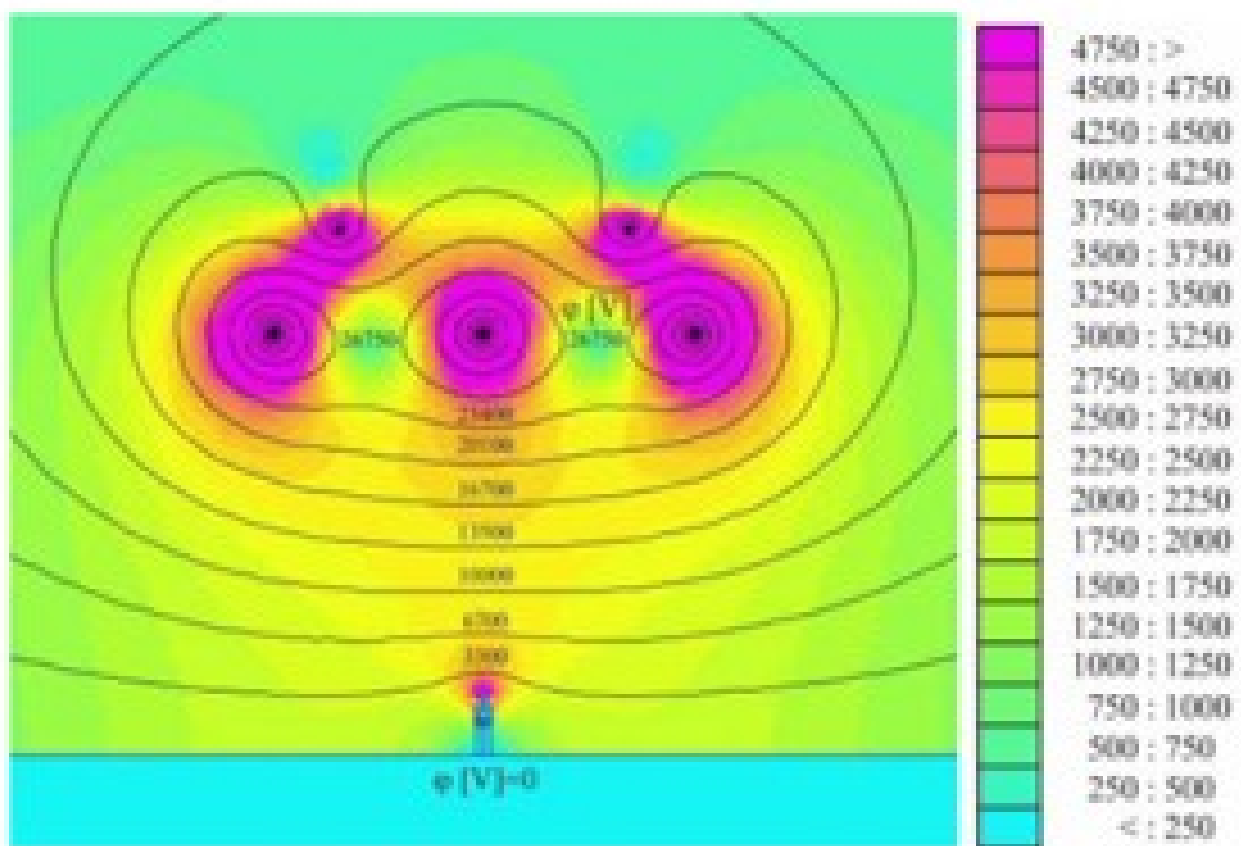
Efectos sobre trabajadores eléctricos

Balamuralikrishnan et al. (2012) en su estudio sobre trabajadores eléctricos en India sometidos a campos eléctricos y magnéticos elevados encontró que esos campos tenían capacidad para producir efectos genotóxicos, sobre todo en exposiciones crónicas.

Corrientes inducidas

Cuando un ser humano está expuesto a un campo eléctrico se generan corrientes inducidas. El cuerpo humano es conductor de la electricidad, por lo que la presencia de una diferencia de

potencial hace que se produzcan corrientes de diferente intensidad. La densidad de la corriente inducida se mide en A/m^2 y depende de la intensidad del campo eléctrico y de la conductividad de cada órgano o tejido del cuerpo (Petkovic et al., 2006). Se define como la corriente que fluye por una unidad de sección transversal perpendicular a la dirección de la corriente (Ministerio de Sanidad y Consumo, 2001). En su estudio sobre modelización del campo eléctrico en una línea de 100 kV, Petkovic et al. (2006) indican que la cabeza y los hombros de una persona que estuviera justo debajo estarían expuestos a campos eléctricos por encima de los 4000 V/m, mientras que el resto del cuerpo lo estaría por encima de los 1000 V/m.



Campo eléctrico sobre una persona que estuviera bajo una línea de 100 kV (Petkovic et al. ,2006)

Según REE (2001) la corriente inducida en la cabeza de una

persona expuesta a 1000 V/m es de 0.05 mA/m², lo que estaría por debajo de 1 mA/m², que es el umbral mínimo para que haya algún efecto biológico, tal y como muestra la siguiente Tabla.

S

Efectos biológicos de corrientes inducidas

| Densidad de corriente (mA/m ²) | Descripción |
|--|--|
| 1-10 | Respuesta mínima biológica tisular |
| 10-100 | Desórdenes en el sistema nervioso y visual |
| 100-1000 | Desórdenes en el corazón y sistema nervioso central, irritabilidad neuromuscular |
| >1000 | Fibrilación cardíaca, alto riesgo de muerte |

Según Andreuccetti (2015), tal y como comentamos cuando discutíamos los niveles de referencia de la ICNIRP, el campo eléctrico externo que induciría un campo eléctrico interno de 0.02 V/m en la cabeza, y una densidad de corriente de 1.9 mA/m² en el cerebelo y 1.5 mA/m² en la materia gris sería de 19 kV/m.

Polarización

En el reciente artículo de Panagopoulos et al. (2015) se pone de relieve **el papel que tiene la polarización de los tejidos biológicos, incrementando su actividad debido a la capacidad de producir efectos de interferencia constructiva y amplificar su intensidad en muchas localizaciones**, y también por la capacidad de forzar a todas las moléculas polares y los iones libres que están por dentro y fuera de las células a oscilar en planos paralelos y en fase con el campo eléctrico aplicado polarizado. Esas oscilaciones forzadas añadan fuerzas electrostáticas sobre los sensores de las membranas celulares, afectando el equilibrio electroquímico de la célula. Panagopoulos et al. (2015) consideran que estas

características hacen que los campos eléctricos que generan los seres humanos (polarizados) sean más bioactivos que los producidos de manera natural, y esta sería una explicación por la cual la exposición a los campos electromagnéticos naturales, como el campo eléctrico natural en la superficie terrestre y el campo magnético estático producido por la Tierra no produzcan la disparidad de efectos sobre la salud que los reportados por los creados de manera artificial, siendo además, generalmente, los producidos de manera natural de mayor intensidad y más duraderos.

Recordemos que un campo está linealmente polarizado cuando oscila sobre un cierto plano llamado "plano de polarización". La radiación solar, por ejemplo, contiene fotones que oscilan de manera aleatoria, es decir, no están polarizados. Panagopoulos et al. (2015) insisten en que esta es una característica propia de la radiación electromagnética artificial (no sólo en baja frecuencia sino en alta frecuencia, como la de los teléfonos móviles).

Otros efectos biológicos

Que las corrientes inducidas sean de poca densidad no quiere decir que no se produzcan efectos biológicos cuando se está expuesto a niveles de campo eléctrico del orden de miles de V/m.

Por ejemplo, Hori et al. (2015) encontraron en ratones que el campo eléctrico tiene efectos sobre los niveles de glucocorticoides, que median la respuesta al estrés en estos animales. Durante 60 minutos se expuso a los animales a varios niveles de campo eléctrico a partir de los 2500 V/m, inmovilizando a un grupo de ellos durante 30 minutos. El estrés generado por esa inmovilización era significativamente menor en los ratones expuestos a campos eléctricos de 10000V/m, pero variaba en función del incremento del campo eléctrico. Este sencillo experimento pone de manifiesto que, incluso en duraciones pequeñas de exposición se pueden

producir cambios hormonales.

En otro reciente estudio, Kantar Gok et al. (2014), repasan las evidencias existentes sobre los efectos de los campos eléctricos de muy baja frecuencia sobre los niveles de peroxidación de los lípidos y las actividades de enzimas antioxidantes. Después de realizar varios experimentos con ratas durante unas semanas (expuestas y no expuestas a campos eléctricos de 12 kV/m y 18 kV/m, los investigadores encontraron que en esas ratas expuestas se producían disminuciones significativas en el potencial de disparidad, una respuesta cerebral frente a diferentes estímulos.

Otras investigaciones, como la de Hori et al. (2012), han mostrado que la exposición a altos niveles de campo eléctrico (45 kV) producía en ratas un efecto inhibitorio sobre la producción de fosfolípidos y de colesterol.

Conclusión

La exposición a campos eléctricos es preocupante cuando se está al aire libre en las inmediaciones de la línea. En las cercanías de esos cables eléctricos el campo generado está por encima de los 1000 V/m, quedando la cabeza especialmente expuesta a niveles bastante superiores.

Las densidades de corrientes inducidas por esos niveles de campo eléctrico no llegan al umbral mínimo para producir efectos biológicos según los estándares que manejan algunos organismos internacionales, como la ICNIRP. Otros investigadores también sostienen que campos eléctricos menores de 6000 V/m no pueden dañar las membranas celulares (Capelli-Schellpfeffer & Lee, 1999; Lee et al. 2000). Sin embargo, hay diversos autores que afirman que **aunque la densidad de corriente inducida sea pequeña, existen otros daños potenciales derivados del proceso de polarización de los tejidos y de cambios hormonales.**

El enfocarse sólo en efectos a corto plazo de nuevo da una

visión demasiado simple de lo que pueden producir sobre la salud exposiciones a largo plazo, aunque sean de manera intermitente (cortos periodos de tiempo al día). A este respecto, existen investigaciones en animales que asocian la exposición a campos eléctricos del orden de pocos miles de V/m a cambios hormonales o respuestas cerebrales a diferentes estímulos. También existe preocupación en la comunidad de investigadores por el efecto en los trabajadores eléctricos en exposiciones crónicas o sobre la posibilidad de que influya en la cantidad inhalada de partículas radiactivas presentes de manera natural en el aire, aunque se necesitan más estudios al respecto.

También el aumento de la polución del aire debido al efecto corona se plantea como una hipótesis causal para explicar el incremento de riesgo de leucemia infantil. La generación de material particulado incrementa la polución del aire, lo que está asociado a un incremento del riesgo de muerte por causas naturales (Beelen et al., 2014). Sin embargo, permanece abierto el debate sobre la importancia relativa de esa polución frente a la generada por otros medios, como el tráfico. A este respecto, Jayaratne et al. (2015) indican que la concentración de partículas cargadas puede ser hasta 5 veces mayor en entornos con alta densidad de tráfico frente a entornos cercanos a una línea de alta tensión. Lo que no se cuestionan Jayaratne et al. (2015) es que esas líneas de alto voltaje son una fuente más de contaminación del aire, y que en determinados casos es significativamente superior a la media.

En cualquier caso, **no hay estudios epidemiológicos sobre posibles efectos de exposiciones puntuales y prolongadas en niños** (como los niños que juegan o caminan diariamente debajo y en las inmediaciones de una línea de alta tensión). Teniendo en cuenta la especial vulnerabilidad de los niños a los agentes medioambientales, sería deseable disponer de evidencias sobre los posibles efectos adversos de su exposición

Las referencias de todas las investigaciones nombradas pueden encontrarse en [este informe](#) que realicé en enero de 2016.

[#4491. AUMENTO DE CASOS DE GLOBLASTOMA TAMBIÉN EN FRANCIA](#)

[#4448. INCREMENTO DE LA INCIDENCIA DE GLOBLASTOMA](#)

[#4411. ENFERMEDADES NEURODEGENERATIVAS Y CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS](#)

[#4401. DIFERENCIAS EN LOS EFECTOS DE LAS PERSONAS EXPUESTAS AL SUPUESTO ATAQUE EN LA HAWANA](#)

[#4330. ASOCIACIÓN ENTRE DISTANCIA A ANTENAS DE TELEFONÍA Y ELA](#)

[#4251. GARRAPATAS ATRAIDAS POR LA RADIACIÓN DE LOS MÓVILES](#)

[#4221. DAÑO INDUCIDO EN EL ADN POR LAS ONDAS DE TELEFONÍA MÓVIL](#)

[#4151. LA RADIACIÓN EMITIDA POR LOS MÓVILES EXCEDE LOS LÍMITES LEGALES](#)

[#4141. ASOCIACIÓN NO SIGNIFICATIVA ENTRE EL CÁNCER DE TIROIDES Y LA EXPOSICIÓN A MÓVILES](#)

[#4061. POSIBLE ATAQUE CON MICROONDAS TAMBIÉN EN CHINA](#)

[#4041. EFECTOS NO TÉRMICOS DE LAS MICROONDAS](#)

[#3911. TABLAS DE TUMORES TOTALES EN EL ESTUDIO DEL ITP SOBRE EFECTOS DE LA RADIACIÓN DE TELÉFONO MÓVIL](#)

[#3791. LOS ARGUMENTOS CIENTÍFICOS SIRVEN DE ALGO?. EL CASO DE MICHIGAN Y EL 5G](#)

[#3751. LOS LOBBIES Y LA REGULACIÓN SOBRE EXPOSICIÓN A RADIOFRECUENCIA EN ESTADOS UNIDOS](#)

[#3691. LA RADIOFRECUENCIA DEBERÍA CONSIDERARSE CANCERÍGENO SEGURO: EL USO EXCESIVO DEL MÓVIL INCREMENTA EL RIESGO DE TUMORES CEREBRALES](#)

[#3651. ¿ATAQUE CON MICROONDAS A LA ESTADADA DE FEJU EN LA HAWANA?](#)

[#3591. LO QUE SABEMOS SOBRE LOS MÓVILES Y EL EFECTO DE LAS ANTENAS DE TELEFONÍA](#)

[#3451. LA CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA EN "DOBLE CARA"](#)

[#3381. CONFLICTOS DE INTERÉS EN LA OMS PARA EVALUAR LOS RIESGOS DE LOS CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS](#)

[#3301. LA PERIATRA TORAL JELTER ADVIERTE SOBRE EL EFECTO DE LA RADIACIÓN NO IONIZANTE EN NIÑOS](#)

[#3221. EL WI-FI ES UNA SERIA AMENAZA A LA SALUD](#)

[#3121. EL WI-FI INFLUYE EN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS](#)

[#3111. EXPOSICIÓN A RADIOFRECUENCIA EN UNIDADES DE CUIDADOS INTENSIVOS NEONATALES](#)

[#3091. LO QUE SE ESCAPA DEL MICROONDAS](#)

[#3061. EXPOSICIÓN A WI-FI EN LAS ESCUELAS SUECAS](#)

[#3001. ENTREVISTA A CEFERINO MAESTO SOBRE BIOELECTROMAGNETISMO](#)

[#2961. ESTRÉS OXIDATIVO ANTE EXPOSICIONES CORTAS A RADIOFRECUENCIA](#)

[#2781. EL CASO DE SHARON GOLDBERG: NIÑOS ELECTROSENSIBLES](#)

[#2721. BACTERIAS HUMANAS AFECTADAS POR CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS NO IONIZANTES](#)

[#2701. MASSACHUSETTS ESTUDIÓ REGULAR EL WI-FI - LOS CONTADORES INTELIGENTES Y MEJORAR LA PROTECCIÓN](#)

[#2581. MÓVIL Y WI-FI INCREMENTAN LA RESISTENCIA A LOS ANTIBIÓTICOS](#)

[#2551. RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y NIVELES DE GLUCOSA EN SANGRE](#)

[#2501. EFECTO DE LA EXPOSICIÓN A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS DE ALTA FRECUENCIA SOBRE LAS CÉLULAS DE PURKINJE](#)

[#2451. EL WI-FI PRODUCE ESTRÉS OXIDATIVO EN EL CEREBRO E HIGADO DE RATAS DE LABORATORIO](#)

[#1881. LOS TELÉFONOS MÓVILES INCREMENTAN LA INCIDENCIA DE CÁNCER DEL LÓBULO TEMPORAL](#)

[#1871. ANTENAS DE TELEFONÍA Y EFECTOS SOBRE EL BIENESTAR](#)

[#1861. RADIACIÓN DE LOS TELÉFONOS MÓVILES Y CAMBIOS EN LAS PLANTAS](#)

[#1821. TELÉFONOS MÓVILES, MICROONDAS Y ALZHEIMER](#)

[#1231. GENOTOXICIDAD DE LA RADIOFRECUENCIA EN PLANTAS](#)

[#1121. LA EXPOSICIÓN PRENATAL A RADIOFRECUENCIA AFECTA A TEJIDOS MUSCULARES Y ÓSEOS](#)

[#1091. DESCUBRIMIENTOS DE LA EPIDEMIOLOGÍA](#)

[#941. TUMORES PROMOVIDOS POR LA EXPOSICIÓN A RADIOFRECUENCIA](#)

[#891. TELÉFONOS MÓVILES - ITALIANOS Y CÁNCER](#)

[#711. ALTA TENSIÓN](#)

[#621. REVISIÓN DE LIBRO: OVERPOWER](#)