



Editorial de la Universidad  
Tecnológica Nacional

**Seminario de Procesos Fundamentales  
Físico-Químicos y Microbiológicos  
Especialización y Maestría en Medio Ambiente  
Laboratorio de Química  
F.R. Bahía Blanca – U.T.N.  
2009**

**Microbiología de las aguas residuales - Aplicación de  
Biosólidos en Suelo**

*Lic. Gustavo Fernando Merli,  
Ing. Nestor Omar Ricciuti*

**Evaluación de la calidad del agua de los recursos hídricos  
superficiales de la cuenca del arroyo Chasicó; Sudoeste  
bonaerense**

*Lic. Noelia Torres*

**Celdas de Combustible  
Ventajas de una generación de electricidad limpia y  
eficiente vía electroquímica**

*Ing. Carlos A. Pistones*

→ **Los efectos de los Campos Electromagnéticos en la salud  
*Roberto D'Elmar, Gabriel Mujica, José Luis Haure***

**Microbiología de la leche  
*Ing. Mauricio Celis y Lic. Daniel Juárez***

**Síndrome del edificio enfermo  
*Ing. Ma. Cecilia Montero***

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

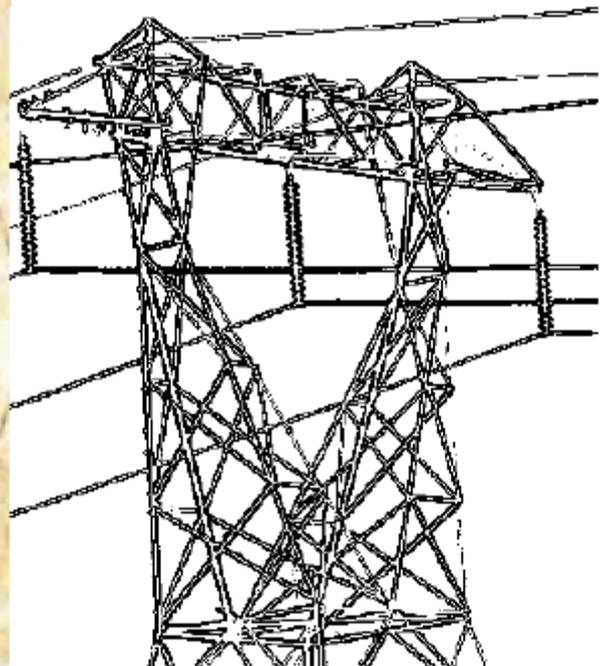
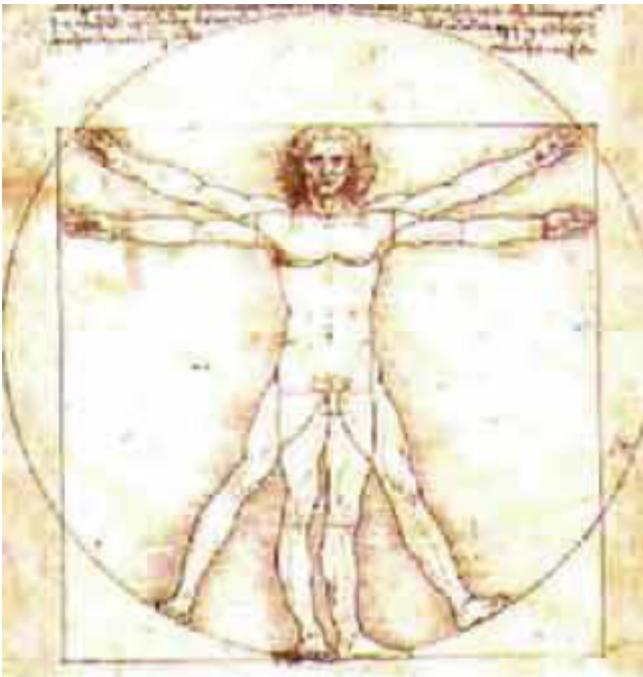
<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

[edutecne@utn.edu.ar](mailto:edutecne@utn.edu.ar)

# Procesos Fundamentales Físicoquímicos y Microbiológicos

Profesores:

- ♦ Roberto Rodríguez
- ♦ Milena Echevarría



## Los efectos de los Campos Electromagnéticos en la salud.

# Los efectos de los Campos Electromagnéticos en la salud.

## Introducción.

---

En el desarrollo de nuestra carrera profesional, hemos notado que existe una preocupación de las personas que viven cerca de líneas eléctricas de media y alta tensión, porque especulan que la presencia continua de campos eléctricos y magnéticos en sus vidas, pudiera afectar negativamente a su salud. Otros se preguntan si vivir en una casa por cuya vereda pasa un alimentador eléctrico subterráneo es una buena decisión.

Estas especulaciones se generan debido a la publicación periódica de estadísticas que indican aumentos de la probabilidad de contraer de cáncer, habitando en proximidades de campos electromagnéticos.

Como se puede intuir, en las épocas actuales es imposible estar aislados de los campos electromagnéticos. Hasta en nuestras propias casas hay aparatos electrodomésticos que los generan, tales como las aspiradoras, hornos de microondas, televisores, teléfonos celulares, batidoras etc. Si bien los niveles de estos campos normalmente no son elevados, se tiene una corta distancia a la fuente de emisión. Sin embargo, raramente se los asocian con efectos perjudiciales para la salud.

Algunos campos electromagnéticos tenemos la posibilidad de evitarlos, por ejemplo los generados en una antena, o en un celular lo haríamos cambiando nuestro estilo de vida o lugar de residencia. Otros como el campo terrestre no. El presente trabajo se centra en los campos de baja frecuencia, en especial los de frecuencia industrial, porque entendemos que siempre estamos bajo sus efectos, y no lo podemos evitar.

Para plantear el origen de los campos electromagnéticos de frecuencia industrial, debemos asumir que en la actualidad la manera más eficiente y económica que existe de transmitir y distribuir energía a la población, es a través de la energía eléctrica, por esa razón se seguirán construyendo tendidos eléctricos en el mundo.

Cuando se realiza un análisis técnico económico de esta forma de transmisión llegamos a la conclusión que cuanto más alta sea la tensión en la que se transmite, más eficaz es el proceso. Y, cuando de distribuir esta energía se trata, se rebaja la tensión, aumentando en forma proporcional la corriente eléctrica.

Generalmente este tendido entre la central generadora y un centro urbano, se realiza a campo traviesa, en un alto nivel de tensión, sin afectar a ninguna vivienda de uso permanente. Las estaciones transformadoras que rebajan este voltaje se instalan estratégicamente en las afueras del centro urbano, y se tienden líneas de distribución hacia el corazón de la población.

La interacción de estas líneas eléctricas de alta tensión y el hombre, durante prolongados espacios de tiempo, se produce porque el crecimiento del centro poblacional interconectado eléctricamente por estas líneas, hace que este tendido quede encerrado dentro del ejido urbano.

Un ejemplo de esta situación en el ámbito local, son algunas casas construidas en terrenos adquiridos en esta década y la anterior, dentro del loteo del barrio San Agustín, cercano al barrio Patagonia. En el mismo existe una línea aérea de Alta Tensión (doble terna de 132 KV) que alimenta a la Estación Transformadora "Norte III", hoy operada por EDES S.A. y la planta de ABSA. Esta línea durante su construcción no afectó a ningún barrio, pero con el desarrollo urbano de la ciudad, esto cambió drásticamente.

La otra parte del problema a describir son los campos magnéticos resultantes de los alimentadores de distribución donde, pueden circular corrientes de unos 400 amperes, y de acuerdo al tipo de tendido físico que tengan pueden estar a 60 cm de la planta de nuestro pie. Esta situación se da simplemente tomando un paseo por el centro de Bahía Blanca mismo. Un caso extremo, aunque de menor intensidad es el uso de mantas eléctricas, para calentar la cama.

Hasta ahora hemos descripto brevemente la manera en que personas pueden interactuar bajo una línea de Alta Tensión, o con campos electromagnéticos elevados. A continuación nuestro trabajo.

## Contenido.

---

Introducción.....	1
Contenido.....	2
Enfoque Histórico.....	4
Primeros estudios sobre la salud y los campos electromagnéticos.....	4
Primeras Acciones en la Normativa Argentina.....	5
Cáncer.....	6
¿Qué es el Cáncer?.....	6
¿Qué provoca Cáncer?.....	6
¿Cómo clasificarlo?.....	7
Agentes genotóxicos y agentes epigenéticos.....	7
Tablas de referencia.....	8
Campos Electromagnéticos.....	10
Introducción.....	10
Corrientes eléctricas inducidas en el cuerpo humano.....	11
Intensidades del campo magnético típicas de algunos electrodomésticos a diversas distancias.....	12
Células.....	13
Definición.....	13
Características.....	13
Características Estructurales.....	14
Características Funcionales.....	14
Tamaño, Forma y Función.....	15
Estudio de las células.....	16
La célula Procariota.....	16
Arqueas.....	17
Bacterias.....	18
La célula Eucariota.....	18
Compartimentos.....	19
Membrana Plasmática y superficie celular.....	20
CEMs en el cuerpo humano y patologías asociadas.....	28
Introducción.....	28
Células - Campos electromagnéticos.....	28

Interacción biológica de los campos electromagnéticos.....	28
Campos electromagnéticos y radicales libres.....	30
Campos electromagnéticos y patología.....	32
Campos electromagnéticos y expresión de genes.....	33
Efectos cognitivos de los campos electromagnéticos.....	34
Mecanismos endocrinos de los efectos de los campos electromagnéticos.....	34
El sistema inmune.....	34
Campos electromagnéticos y melatonina.....	35
Marco Normativo e institucional.....	40
Marco Normativo a Nivel Internacional.....	40
Principio precautorio a nivel mundial.....	40
Comité Europeo de Normas Electrotécnicas (CENELEC).....	40
IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).....	40
Marco Normativo a Nivel Nacional.....	40
Principio precautorio.....	41
Concepto de Servidumbre.....	41
Leyes Nacionales.....	42
Reglamentos Técnicos.....	42
Secretaría de Energía.....	42
Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE).....	42
Normas IRAM.....	42
Recomendaciones de Organismos Internacionales.....	43
International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).....	43
Recomendaciones de la ICNIRP.....	43
Organización Mundial de la Salud (OMS).....	44
Recomendación de la Organización Mundial de la Salud.....	44
The International Agency for Research on Cancer (IARC).....	45
Propuesta/Conclusión.....	46
Bibliografía.....	49
Internet. Páginas visitadas.....	49
Documentos.....	50

## Enfoque Histórico.

### Primeros estudios sobre la salud y los campos electromagnéticos.

Las primeras llamadas de alerta se dan en el año 1.972, cuando algunos de los científicos de la entonces Unión Soviética observan extrañas alteraciones en los trabajadores del sector eléctrico expuestos habitualmente a niveles altos de CEM<sup>1</sup>. Estos trabajadores presentaban alteraciones continuas de la tensión arterial, cefaleas persistentes, fatiga excesiva, estrés y depresiones agudas.

Más tarde, a fines de los años 70 y principios de los 80 comenzaron a hacerse públicos los primeros estudios sobre el tema. Wertheimer y Leeper<sup>2</sup> sugirieron la existencia de una asociación entre la presencia de las líneas de Alta Tensión en las cercanías de los domicilios y la incidencia de leucemias y otro tipos de cáncer en niños.

Desde ese tiempo, muchos científicos estudian los efectos de los campos electromagnéticos sobre los tejidos biológicos, sobre todo a raíz de las denuncias realizadas por las familias que se han visto obligadas a convivir con una instalación eléctrica de gran potencia cerca de sus casas y que uno o varios de sus miembros han desarrollado un proceso canceroso.

Periódicamente se hicieron revisiones realizadas por grupos de expertos, que trataron de evaluar si los estudios publicados ofrecen evidencias de una relación causal entre campos electromagnéticos de baja frecuencia y efectos sobre la salud y el medio ambiente.

En muchos de estos estudios, se llega a la conclusión general que los campos electromagnéticos emitidos por las redes eléctricas aéreas de transporte (alta tensión), no sólo serían nocivas para la salud humana, sino también para la fauna y la flora. Particularmente, y refiriéndonos al hombre, se sospecha, entre otras, de ser causa de impedir el sueño, de inducir al suicidio, de causar problemas al ritmo cardíaco, y sobre todos de provocar cánceres, de manera notable, entre los niños.

Por ejemplo: Paul Brodeur, generó varios informes que se publicaron en distintas revistas científicas<sup>3</sup>, en los que dice que lo que circula por las líneas eléctricas, son “corrientes de muerte”.

En 2005, el Grupo de Investigación sobre Cáncer Infantil de la Universidad de Oxford realizó un estudio sobre 29.081 niños/as con cáncer (incluidos 9.700 con leucemia). El resultado de la investigación señaló un aumento significativo del riesgo de cánceres en relación a la distancia de líneas eléctricas<sup>4</sup>.

Un estudio de la Universidad Suiza de Berna<sup>5</sup>, dirigido por el epidemiólogo Dr. Martin Röösli, ha concluido que las personas que viven a menos de 50 metros de una línea de gran potencia, tienen más probabilidades de morir por Alzheimer.

Desde el punto de vista epidemiológico, algunos expertos creen haber encontrado una relación entre una mayor frecuencia de casos de leucemia infantil y linfomas de Hodgking en las poblaciones atravesadas por líneas de alta tensión. Estos cánceres aparecerían también con mayor frecuencia entre los trabajadores del sector eléctrico.

Sin embargo, en muchos otros estudios, se indica que actualmente no se dispone de evidencias que la exposición a campos electromagnéticos generados por las líneas eléctricas suponga un riesgo para la salud de las personas.

<sup>1</sup> CEM: Campos Electromagnéticos.

<sup>2</sup> Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *American Journal of Epidemiology* 109:273-284, 1979.

<sup>3</sup> Brodeur P. *Currents of Death: Power Lines, Computer Terminals, and the Attempt to Cover Up the Threat to Your Health*. New York: Simon and Schuster, 1989.

<sup>4</sup> G. Draper, et al: Childhood Cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study. *British Medical J.* 1290: 4 June 2005.

<sup>5</sup> Institute of Social and Preventive Medicine, University of Bern, Bern, Switzerland. Publicado en *American Journal of Epidemiology*. 2009 Jan 15;169(2):167-75. Epub 2008 Nov 5

Ejemplo de esta última tendencia, la encontramos en estudios del Instituto Nacional de Cáncer Americano, quien no halló ninguna relación entre la leucemia entre los niños y los campos electromagnéticos<sup>6</sup>. Tampoco tendrían ninguna influencia sobre el cáncer de mama<sup>7</sup>. La Universidad de Helsinki evaluó el impacto de las líneas de alta tensión sobre el cáncer entre 384.000 hombres y mujeres y descubrió que la tasa de cáncer era 2% inferior a la normal para la población que vivía a menos de 500 metros de las líneas de alta tensión<sup>8</sup>. De igual modo, un informe de la American Physical Society, que agrupa a 45.000 médicos constató después de compilar 100 informes sobre el tema, que las relaciones entre el cáncer y las líneas de alta tensión son inexistentes<sup>9</sup>.

### Primeras Acciones en la Normativa Argentina.

Desde el punto de vista ambiental y legislativo, podemos hablar de la Resolución de la SECRETARIA DE ENERGIA N° 475 de fecha 4 de septiembre de 1.987 que prevé los mecanismos para la dimensión ambiental en los proyectos y obras energéticas y en diseño, construcción y explotación de líneas de transmisión y estaciones transformadoras y/o de compensación de Extra Alta Tensión, desde la etapa del proyecto hasta la explotación.

Luego, estas condiciones se ampliaron y se fijaron nuevos requerimiento en el "Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión", aprobado por la Resolución N° 15/92 de la misma Secretaría.

Actualmente la que vale es la Resolución 77/98, del 12 de marzo de 1998 que amplía las condiciones y requerimientos fijados en el "Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión", aprobado por la Resolución N° 15/92.

Actualmente se utiliza la RESOLUCION 144/2007 de la secretaría de energía.

6 K.Foster in Phantom Risk, MIT Press 1993.

7 Rapport de la Commission Interdisciplinary d'Experts, Secrétariat de l'Etat à l'Energie, Belgique, 1990

8 K.J.Rothman et al., Epidemiology, 7,291,1997.

9 Banu.demirci@uni-essen.de

## Cáncer.

---

### ¿Qué es el Cáncer?

La palabra cáncer deriva del latín, y como la derivada del griego karkinos, significa “cangrejo”. Se dice que las formas corrientes de cáncer avanzado adoptan una forma abigarrada, con ramificaciones, que se adhiere a todo lo que agarra, con la obstinación y forma similar a la de un cangrejo marino, y de ahí deriva su nombre. Se considera a veces sinónimo de los términos “neoplasia” y “tumor”; sin embargo, el cáncer siempre es una neoplasia o tumor maligno.

Una definición que consideramos acertada acerca de lo que es el cáncer lo podemos tomar del Instituto Nacional del Cáncer<sup>10</sup> de Estados Unidos:

*“El cáncer no es una enfermedad, sino más bien muchas enfermedades. De hecho, hay 100 tipos diferentes de cáncer. Todos los cánceres empiezan en las células. Las células son las unidades básicas que forman los tejidos del cuerpo. Para entender mejor qué es el cáncer, es necesario saber cómo las células normales se vuelven cancerosas.*

*El cuerpo está compuesto de muchos tipos de células. Estas células crecen y se dividen para producir nuevas células conforme el cuerpo las necesita. Cuando las células envejecen, mueren y éstas son reemplazadas por células nuevas.*

*Pero a veces, este proceso ordenado de división de células se descontrola. Células nuevas se siguen formando cuando el cuerpo no las necesita. Cuando esto pasa, las células viejas no mueren cuando deberían morir. Estas células que no son necesarias pueden formar una masa de tejido. Esta masa de tejido es lo que se llama tumor. No todos los tumores son cancerosos. Los tumores pueden ser benignos o malignos.*

- *Los tumores benignos no son cancerosos. Generalmente se pueden extraer (extirpar). En la mayoría de los casos, estos tumores no vuelven a crecer. Las células de los tumores benignos no se diseminan o riegan a otros tejidos o partes del cuerpo.*
- *Los tumores malignos son cancerosos. Las células en estos tumores pueden invadir el tejido a su alrededor y diseminarse (regarse) a otros órganos del cuerpo. Cuando el cáncer se disemina o riega de una parte del cuerpo a otra, se llama metástasis.*

*El nombre del cáncer depende del órgano o tipo de célula donde empezó u originó. Por ejemplo, el cáncer que empieza en el estómago se llama cáncer de estómago. Algunos cánceres no forman tumores. Por ejemplo, la leucemia es un cáncer de la médula ósea (el tejido esponjoso dentro de los huesos).”*

### ¿Qué provoca Cáncer?

Sabemos que el cáncer puede afectar a todas las edades, incluso a fetos, pero el riesgo de sufrir los más comunes se incrementa con la edad. El cáncer causa cerca del 13% de todas las muertes<sup>11</sup>.

El cáncer puede ser causado por anomalías en el material genético de las células. Estas anomalías pueden ser provocadas por agentes carcinógenos, como la radiación (ionizante, ultravioleta, etc), o la luz solar, la exposición a productos químicos (procedentes de la industria, del humo del tabaco y de la contaminación en general, etc) o de agentes infecciosos o simplemente desconocidos.

<sup>10</sup> Agencia principal del gobierno federal de los Estados Unidos para la investigación y capacitación sobre el cáncer. Su página web es <http://www.cancer.gov/>

<sup>11</sup> De acuerdo con el Instituto Nacional del Cáncer de Estados Unidos, 7,6 millones de personas murieron de cáncer en el mundo durante 2007.

Otras anormalidades genéticas cancerígenas son adquiridas durante la replicación normal del ADN, al no corregirse los errores que se producen durante la misma, o bien son heredadas y, por consiguiente, se presentan en todas las células desde el nacimiento, causando una mayor probabilidad de desencadenar la enfermedad. Existen complejas interacciones entre el material genético y los carcinógenos, siendo los motivos por el que algunos individuos desarrollan cáncer después de la exposición a carcinógenos y otros no. Nuevos aspectos de la genética del cáncer, como la metilación del ADN y los microARNs, están siendo estudiados como importantes factores a tener en cuenta por su implicación.

Las anormalidades genéticas encontradas en las células cancerosas pueden ser de tipo mutación puntual, translocación, amplificación, delección, y ganancia/pérdida de todo un cromosoma. Existen genes que son más susceptibles a sufrir mutaciones que desencadenen cáncer. Esos genes, cuando están en su estado normal, se llaman protooncogenes, y cuando están mutados se llaman oncogenes.

Lo que esos genes codifican suelen ser receptores de factores de crecimiento, de manera que la mutación genética hace que los receptores producidos estén permanentemente activados, o bien codifican los factores de crecimiento en sí, y la mutación puede hacer que se produzcan factores de crecimiento en exceso y sin control.

### ¿Cómo clasificarlo?

El cáncer es generalmente clasificado según el tejido a partir del cual las células cancerosas se originan. Un diagnóstico definitivo requiere un examen histológico, aunque las primeras indicaciones de cáncer pueden ser dadas a partir de síntomas o radiografías. Muchos cánceres pueden ser tratados y algunos curados, dependiendo del tipo, la localización y la etapa o estado en el que se encuentre.

Una vez detectado, se trata con la combinación apropiada de cirugía, quimioterapia y radioterapia. Según investigaciones, los tratamientos se especifican según el tipo de cáncer y, recientemente, también del propio paciente. Ha habido además un significativo progreso en el desarrollo de medicamentos que actúan específicamente en anormalidades moleculares de ciertos tumores y minimizan el daño a las células normales. El diagnóstico de cáncer en pacientes está, en gran medida, influenciado por el tipo de cáncer, así como por la etapa o la extensión de la enfermedad<sup>12</sup>.

La clasificación histológica y la presencia de marcadores moleculares específicos pueden ser también útiles en el diagnóstico, así como para determinar tratamientos individuales.

### Agentes genotóxicos y agentes epigenéticos.

Determinadas sustancias químicas presentan un alto potencial para causar mutaciones. Estas sustancias son llamadas Carcinógenos, los cuales pueden ser Genotóxicos (iniciadores) o Epigenéticos (promotores). Si los campos magnéticos industriales fuesen carcinogénicos, podrían ser o Genotóxicos o Epigenéticos.

Los agentes epigenéticos pueden contribuir al desarrollo de cáncer, aunque no sean capaces de originarlo por sí solos; ellos afectan indirectamente a la carcinogénesis al aumentar la probabilidad de que otros agentes genotóxicos causen un daño, o que el daño genotóxico causado por otros agentes produzca un cáncer.

Existen muchas formas de medir la genotoxicidad; en la Tabla 1 se muestran algunas pruebas de laboratorio que pueden usarse para evaluar su evidencia. La Tabla 2 hace referencia a estudios de exposición de organismos sanos a diferentes intensidades de campo y sus efectos. A pesar de los estudios publicados, no hay evidencias reproducidas para la genotoxicidad.

Aún antes de que se acumulara la evidencia de que los campos industriales no eran genotóxicos, existían suposiciones de que podrían ser promotores. En general, los campos industriales parecen no tener actividad epigenética y los pocos estudios que han mostrado alguna evidencia de esta actividad han usado intensidades

<sup>12</sup> frecuentemente en estados iniciales suele ser confundido con otras patologías, si no se realizan los diagnósticos diferenciales adecuados.

de campo por encima de aquellas encontrados en la mayoría de los ambientes residenciales y ocupacionales (Tabla 3).

La investigación actual indica que la carcinogénesis es un proceso en varias fases, causada por una serie de daños en el material genético de las células. El modelo, conocido como "multi-step carcinogenesis model" (de múltiples etapas), reemplaza al llamado de iniciación – promoción, el cual proponía que la carcinogénesis era un proceso en dos fases, la primera un daño genotóxico (iniciación) y la segunda un proceso no genotóxico (promoción). Está claro que en muchos cánceres, si no en todos, suceden múltiples alteraciones genotóxicas; y que no en todos los tipos de cáncer debe haber promoción.

### Tablas de referencia

Prueba	Descripción
Inducción de cáncer (in vivo)	Analiza el aumento de cáncer en animales. Se expone a los animales a un agente durante un período largo y se analiza si hay un aumento en la tasa de cáncer.
Mutagénesis (in vivo)	Analiza cambios en el material biológico de óvulos o espermatozoides, que se pueden transmitir a la descendencia. Se expone a animales al agente, luego se aparean y se analiza su descendencia buscando efectos hereditarios.
Mutagénesis (in vitro)	Analiza los cambios en el material genético que puede ser transmitido a las células hijas. Se exponen las células al agente y se analizan los cambios hereditarios en la descendencia.
Intercambio de cromatinas homólogas (in vitro, in vivo)	Analiza la presencia de rupturas y reorganización de trozos de cromosomas. El análisis se puede aplicar a células blancas de organismos expuestos (incluyendo personas) o a células expuestas en cultivo.
Transformación celular (in vitro)	Analiza si las células que crecen en cultivo, cuando se exponen a un agente, sufren cambios que semejan la respuesta a un cancerígeno. Estos cambios incluyen: pérdida de inhibición de crecimiento, que hace que las células se apilen, y adquisición de la capacidad de crecer.

*Tabla 1 Pruebas de laboratorio para evaluar la evidencia de la genotoxicidad*

Prueba	Objetivo	Resultado
<b>In vivo</b>	<b>CARCINOGENESIS</b>	-Se encontraron efectos no significativos de tumores de piel y leucemia en ratones. -Se reportó aumento de cáncer en ratas después de dos años de exponerlas a un campo de 500 a 5000 $\mu$ T y 50Hz
	<b>ABERRACIONES CROMOSÓMICAS</b>	-En humanos expuestos se encontraron daños cromosómicos, resultado esperado ya que eran fumadores o habían sufrido alguna descarga eléctrica. -No se encontraron daños cromosómicos en plantas expuestas a 75Hz en un campo magnético o campos eléctricos y magnéticos combinados.
<b>In vitro</b>	<b>DAÑOS CROMOSÓMICOS</b>	- No hubo daños cromosómicos en células humanas expuestas a un campo magnético de 300 $\mu$ T. - Se observaron daños en humanos a nivel de linfocitos a un campo magnético de 75 a 150 $\mu$ T a 32Hz.
	<b>RUPTURAS DE ADN</b>	-Se encontró que los campos magnéticos no pueden causar rompimiento en el ADN. -No se encontraron daños en el ADN de células humanas expuestas a campos de pulsos.
Estudios realizados a 50- 60 Hz, a menos que se especifique lo contrario.		

*Tabla 2. Evaluación de la genotoxicidad de los campos de ELF*

Objetivo	Resultados
TUMORES EN LA PIEL INDUCIDOS POR DMBA	-No se encontró promoción de tumor en la piel a 50-500 $\mu$ T aplicados de forma intermitente o continua.
TUMORES MAMARIOS INDUCIDOS POR NMU	- Se encontró promoción de tumores mamarios a 20 $\mu$ T
LINFOMAS INDUCIDOS POR ENU	-No se encontraron linfomas por exposición continua a 2, 200 o 1000 $\mu$ T, o por exposición intermitente a 1000 $\mu$ T
AUMENTO EN LA TRANSFORMACIÓN	- Hubo aumento en la transformación inducida por TPA en células mamíferas expuestas a 100 $\mu$ T (efecto aún no reproducido).
AUMENTO EN LA GENOTOXICIDAD	-No se presentó aumento de la mutagénesis química en bacterias sometidas a 0.12 $\mu$ T.
<b>DMBA</b> : 7,12 - dimethylbenz(a)anthracine; <b>NMU</b> : nitrosomethyl urea; <b>ENU</b> : N - ethyl - N – nitrosourea	
Estudios realizados a 50- 60 Hz	

*Tabla 3. Evaluación de agentes Epigenéticos*

## Campos Electromagnéticos

### Introducción

Los campos electromagnéticos están presentes en nuestro entorno desde el principio de los tiempos. El desarrollo humano tecnológico y el progreso de nuestra sociedad han llevado a un aumento de las fuentes emisoras de campos electromagnéticos en nuestras vidas.

Técnicamente podemos definir a un Campo Electromagnético es un campo físico, de tipo tensorial, que afecta a partículas con carga eléctrica.

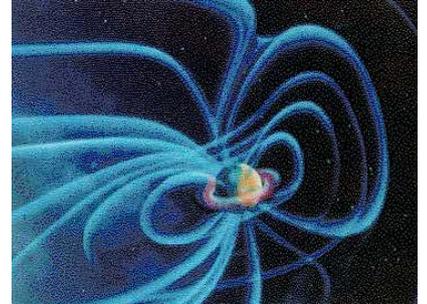
La Organización Mundial de la Salud, cuando trata este tema en particular, lo define de la siguiente manera: *“Entidad física que transporta o almacena energía en un espacio libre y que se manifiesta mediante fuerzas ejercidas sobre cargas eléctricas. Los CEM incluyen campos eléctricos y magnéticos estáticos así como los campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos variables en el tiempo con frecuencias en el rango de 0 a 300 GHz”*

La mayoría de los campos electromagnéticos son invisibles para el ojo humano. Podemos hablar, si fijamos un sistema de referencia, de descomponer convencionalmente el campo electromagnético en una parte eléctrica y en una parte magnética. Sin embargo, un observador en movimiento relativo respecto a ese sistema de referencia medirá efectos eléctricos y magnéticos diferentes, lo cual ilustra la relatividad de lo que llamamos parte eléctrica y parte magnética del campo electromagnético. Como consecuencia de lo anterior tenemos que ni el "vector" campo eléctrico ni el "vector" de inducción magnética se comportan genuinamente como magnitudes físicas de tipo vectorial, sino que juntos constituyen un tensor para el que sí existen leyes de transformación físicamente esperables.

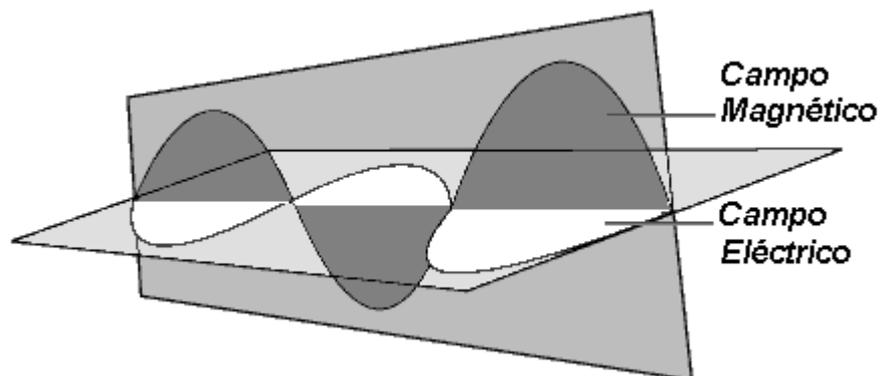
La teoría convencional nos dice que toda corriente eléctrica genera **campos eléctricos y magnéticos**. El campo eléctrico es proporcional al voltaje y el campo magnético es proporcional a la corriente. Para que se entienda claramente, el voltaje es similar a la cantidad de agua que hay en un tanque y la corriente es la fuerza con que baja por la cañería. En la corriente alterna de nuestras casas, la dirección de la corriente cambia 50 veces por cada segundo.

Los campos eléctricos pueden ser blindados o aislados, por ejemplo con el recubrimiento aislante de los cables, mientras que el campo magnético es mucho más difícil y costoso de aislar y en muchos casos es prácticamente imposible.

Donde quiera que se genera, transmita o distribuya electricidad en tendidos o cables eléctricos o se utiliza en aparatos eléctricos existen campos eléctricos y magnéticos. Dado que el uso de la electricidad forma parte integrante de nuestro sistema de vida moderno, estos campos están omnipresentes en nuestro ambiente.



**Campo Magnético Terrestre. Presente desde hace muchos**



Las líneas de transmisión generan fuertes campos eléctricos, mientras que las líneas de distribución generan campos magnéticos relativamente más fuertes dependiendo el número de casas a las que suministran la energía.

La unidad de intensidad de campo eléctrico es el voltio por metro (V/m) o el kilovoltio por metro (kV/m) y para los campos magnéticos la densidad de flujo se mide en (A/M), teslas (T), o más habitualmente en militeslas (mT) o en microteslas (μT).

### Corrientes eléctricas inducidas en el cuerpo humano.

Los campos eléctricos y magnéticos pueden inducir cargas superficiales en los humanos dando como resultado flujos de corriente dentro del cuerpo.

La frecuencia y la longitud de onda están relacionadas, y cuando la frecuencia aumenta, la longitud de onda disminuye. Aunque se habla normalmente del espectro electromagnético como si produjera ondas de energía, algunas veces la energía electromagnética actúa en forma de partículas más que como ondas; esto es particularmente cierto para altas frecuencias.

Una cantidad que es de interés al analizar las interacciones de los campos de ELF<sup>13</sup> es la magnitud pico de la densidad de corriente inducida  $I_{pico}$  la cual puede ser calculada de la Ley de Ohm:

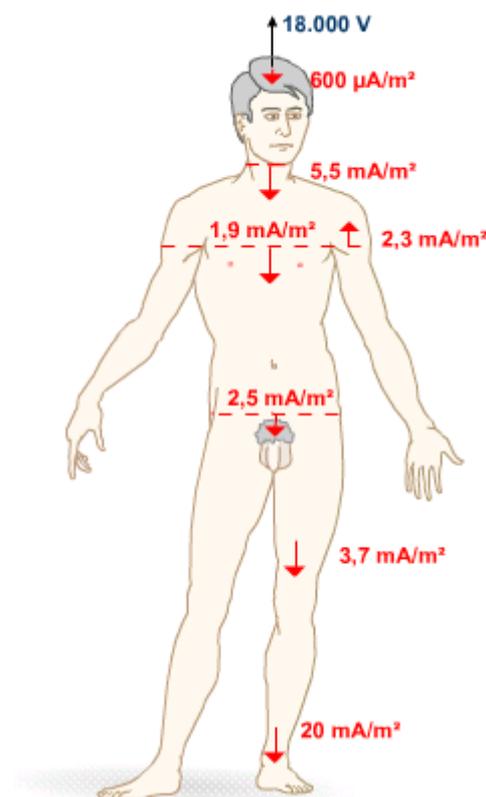
$$|I|_{pico} = \sigma |E|_{pico} = \sigma \pi f r |B_0|$$

Donde

- $B_0$  : campo sinusoidal aplicado a un circuito circular
- $|E|_{pico}$ : valor pico del campo eléctrico inducido
- r: radio del circuito implicado
- f : frecuencia eléctrica (para nuestro caso, 50 Hz)
- $\sigma$ : conductividad eléctrica del medio.

La ecuación anterior ayuda a calcular la magnitud del CEM que eventualmente perturbaría el funcionamiento de tejidos biológicos críticos tales como el corazón o el sistema nervioso central.

Se ha estimado que las densidades de corriente endógenas (que se originan en el interior del organismo) asociadas con la actividad eléctrica del cerebro y el corazón tienen límites inferiores de 1 mA/m<sup>2</sup> y 10mA/m<sup>2</sup>, respectivamente<sup>14</sup>. Como ejemplo de estimación basado en la anterior ecuación, para un campo magnético sinusoidal de 50Hz, aplicado a un lazo circular de tejido con radio  $r = 0.065$  m y una conductividad  $\sigma = 0.22$  S/m, comparables a los del corazón humano, encontramos que la densidad de flujo magnético que induciría una densidad de corriente de 10 mA/m<sup>2</sup> es de 4.4mT.



**Niveles de corriente alterna en el cuerpo humano (si hay un perfecto apoyo de los pies) Fuente: Wikipedia**

<sup>13</sup> ELF: Extremely Low Frequency Fields: A lo largo del presente trabajo será equivalente a Campo Electromagnético de Frecuencia extremadamente baja (menores de 300 Hz), en particular de 50 Hz

<sup>14</sup> **STUCHLY, M.** "Low Frequency Magnetic Fields: Dosimetry, Cellular, and Animal Effects". In The Biomedical Engineering Handbook. Edited by J. Bronzino. CRC Press and IEEE Press, Boca Raton, FL, 1995.

Debido a que campos magnéticos de ELF con intensidades mayores a varios militeslas están presentes en la proximidad de ciertos tipos de aparatos y maquinaria industrial, la inducción de campos en tejidos a niveles que podrían perturbar funciones biológicas es probable. Además, si existen grandes transitorios eléctricos o se presentan armónicos de orden superior, es posible que se induzcan en el cuerpo corrientes eléctricas más fuertes que aquellas que ocurren en forma natural. Existen, también, parámetros que a menudo son omitidos en las investigaciones biológicas: la forma de onda, la frecuencia natural del campo y el espesor de la piel; que afectan significativamente el comportamiento del campo<sup>15</sup>.

### Intensidades del campo magnético típicas de algunos electrodomésticos a diversas distancias

Muchas personas se sorprenden cuando reparan en la diversidad de las intensidades de los campos magnéticos presentes en el entorno de diversos aparatos eléctricos. La intensidad del campo no depende del tamaño, complejidad, potencia o ruido que hace el electrodoméstico. Además, las intensidades de los campos magnéticos pueden ser muy diversas, incluso entre aparatos aparentemente similares. Por ejemplo, algunos secadores de pelo generan campos muy intensos, mientras que otros apenas producen campo magnético alguno. Estas diferencias de intensidad del campo magnético están relacionadas con el diseño del producto. El siguiente cuadro muestra valores típicos correspondientes a diversos aparatos eléctricos comunes en los hogares y lugares de trabajo. Las mediciones se tomaron en Alemania y todos los aparatos funcionan con electricidad a 50 Hz de frecuencia. Debe señalarse que los niveles de exposición efectivos varían considerablemente dependiendo del modelo de electrodoméstico y de la distancia al mismo.

Aparato eléctrico	A una distancia de 3 cm (μT)	A una distancia de 30 cm (μT)	A una distancia de 1 m (μT)
Secador de pelo	<b>6 – 2000</b>	0,01 – 7	0,01 – 0,03
Máquina de afeitar eléctrica	<b>15 – 1500</b>	0,08 – 9	0,01 – 0,03
Aspiradora	200 – 800	<b>2 – 20</b>	0,13 – 2
Luz fluorescente	40 – 400	<b>0,5 – 2</b>	0,02 – 0,25
Horno de microondas	73 – 200	<b>4 – 8</b>	0,25 – 0,6
Radio portátil	16 – 56	<b>1</b>	< 0,01
Horno eléctrico	1 – 50	<b>0,15 – 0,5</b>	0,01 – 0,04
Lavadora	0,8 – 50	<b>0,15 – 3</b>	0,01 – 0,15
Hierro	8 – 30	<b>0,12 – 0,3</b>	0,01 – 0,03
>Lavavajillas	3,5 – 20	<b>0,6 – 3</b>	0,07 – 0,3
Computadora	0,5 – 30	<b>&lt; 0,01</b>	
Frigorífico	0,5 – 1,7	<b>0,01 – 0,25</b>	<0,01
Televisor de color	2,5 - 50	0,04 – 2	<b>0,01 – 0,15</b>

En la mayoría de los electrodomésticos, la intensidad del campo magnético a una distancia de 30 cm es considerablemente inferior al límite recomendado para el conjunto de la población de 100 μT.

Fuente: Oficina federal alemana de seguridad radiológica (Bundesamt für Strahlenschutz, BfS), 1999. (La distancia de operación normal se indica en negrita).<sup>16</sup>

<sup>15</sup> **CARDONA, C. y ARCOS, Y.** Efectos biológicos de los campos magnéticos de muy baja frecuencia y muy baja densidad. Proyecto de grado, Universidad de Antioquia, 1998.

<sup>16</sup> Tabla extraída de <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/es/index3.html>

## Células

---

### Definición

La célula es una unidad mínima de un organismo capaz de actuar de manera autónoma. Todos los organismos vivos están formados por células, y en general se acepta que ningún organismo es un ser vivo si no consta al menos de una célula.

Algunos organismos microscópicos, como bacterias y protozoos, son células únicas, mientras que los animales y plantas están formados por muchos millones de células organizadas en tejidos y órganos. De este modo, puede clasificarse a los organismos vivos según el número que posean: si sólo tienen una, se les denomina unicelulares (como pueden ser los protozoos o las bacterias, organismos microscópicos); si poseen más, se les llama pluricelulares. Aunque los virus y los extractos acelulares realizan muchas de las funciones propias de la célula viva, carecen de vida independiente, capacidad de crecimiento y reproducción propias de las células y, por tanto, no se consideran seres vivos.

Hay células de formas y tamaños muy variados. Algunas de las células bacterianas más pequeñas tienen forma cilíndrica de menos de una micra o  $\mu\text{m}$  ( $1 \mu\text{m}$  es igual a una millonésima de metro) de longitud y una masa de 1 ng. En el extremo opuesto se encuentran las células nerviosas, corpúsculos de forma compleja con numerosas prolongaciones delgadas que pueden alcanzar varios metros de longitud (las del cuello de la jirafa constituyen un ejemplo espectacular). Casi todas las células vegetales tienen entre 20 y 30  $\mu\text{m}$  de longitud, forma poligonal y pared celular rígida. Las células de los tejidos animales suelen ser compactas, entre 10 y 20  $\mu\text{m}$  de diámetro y con una membrana superficial deformable y casi siempre muy plegada.

La biología estudia las células en función de su constitución molecular y la forma en que cooperan entre sí para constituir organismos muy complejos, como el ser humano. Para poder comprender cómo funciona el cuerpo humano sano, cómo se desarrolla y envejece y qué falla en caso de enfermedad, es imprescindible conocer las células que lo constituyen.

Su nombre deriva del latín *cellula*, diminutivo de *cella*, hueco. La aparición del primer organismo vivo sobre la Tierra suele asociarse al nacimiento de la primera célula. Si bien existen muchas hipótesis que especulan cómo ocurrió, usualmente se describe que el proceso se inició gracias a la transformación de moléculas inorgánicas en orgánicas bajo unas condiciones ambientales adecuadas; tras esto, dichas biomoléculas se asociaron dando lugar a entes complejos capaces de autorreplicarse. Existen posibles evidencias fósiles de estructuras celulares en rocas datadas en torno a 4 o 3,5 miles de millones de años (giga-años o Ga.)<sup>17</sup>.

### Características.

Las células, como sistemas termodinámicos complejos, poseen una serie de elementos estructurales y funcionales comunes que posibilitan su supervivencia; no obstante, los distintos tipos celulares presentan modificaciones de estas características comunes que permiten su especialización funcional y por ello, la ganancia de complejidad. De este modo, las células permanecen altamente organizadas a costa de incrementar la entropía del entorno, uno de los requisitos de la vida.

Pese a las muchas diferencias de aspecto y función, todas las células están envueltas en una membrana — llamada membrana plasmática— que encierra una sustancia rica en agua llamada citoplasma. En el interior de las células tienen lugar numerosas reacciones químicas que les permiten crecer, producir energía y eliminar residuos. El conjunto de estas reacciones se llama metabolismo (término que proviene de una palabra griega que significa cambio). Todas las células contienen información hereditaria codificada en moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN); esta información dirige la actividad de la célula y asegura la

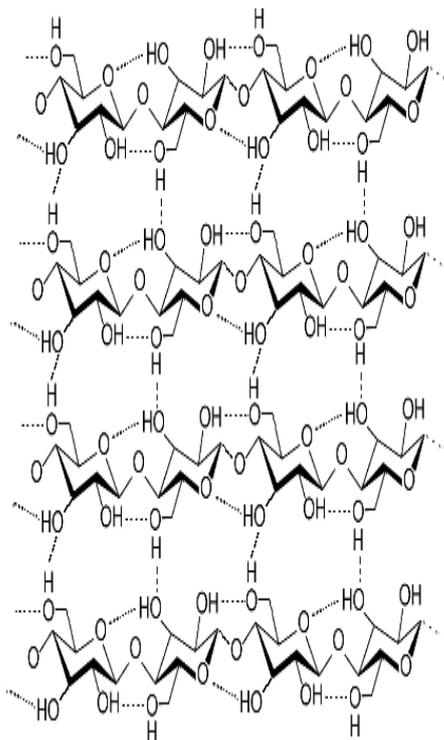
<sup>17</sup> J. William Schopf. New evidence of the antiquity of life. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*. Springer Netherlands. ISSN 0169-6149

reproducción y el paso de los caracteres a la descendencia. Estas y otras numerosas similitudes (entre ellas muchas moléculas idénticas o casi idénticas) demuestran que hay una relación evolutiva entre las células actuales y las primeras que aparecieron sobre la Tierra.

Los biólogos clasifican a las células en dos tipos: Las Procariotas y las eucariotas.

El término procariota procede de palabras griegas que significan “*antes del núcleo*” o “*prenúcleo*”, mientras que eucariota significa “*núcleo verdadero*”.

### Características Estructurales.



**La existencia de polímeros como la celulosa en la pared vegetal permite sustentar la estructura celular empleando un armazón externo.**

Las características de las células las podemos enumerar resumidamente de la siguiente manera:

- **Individualidad:** Todas las células están rodeadas de una membrana plasmática que las separa y comunica con el exterior, que controla los movimientos celulares y que mantiene el potencial eléctrico de la célula. Algunas células como las bacterias y las células vegetales poseen una pared celular que rodea a la membrana plasmática.
- **Contienen un medio hidrosalino, el citoplasma, que forma la mayor parte del volumen celular y en el que están inmersos los orgánulos celulares.**
- **Poseen:**
  - **Material genético en forma de ADN<sup>18</sup>, el material hereditario de los genes y que contiene las instrucciones para el funcionamiento celular.**
  - **ARN<sup>19</sup>, que expresa la información contenida en el ADN.**
  - **Enzimas y otras proteínas que ponen en funcionamiento la maquinaria celular, un metabolismo activo.**
  - **Una gran variedad de otras biomoléculas.**

### Características Funcionales



**ENZIMAS: proteínas implicadas en el metabolismo celular.**

Las células vivas son un sistema bioquímico complejo. Las características que permiten diferenciar las células de los sistemas químicos no vivos son:

- **Nutrición.** Las células toman sustancias del medio, las transforman de una forma a otra, liberan energía y eliminan productos de desecho, mediante el metabolismo.
- **Crecimiento y multiplicación.** Las células son capaces de dirigir su propia síntesis. A consecuencia de los procesos nutricionales, una célula crece y se divide,

<sup>18</sup> ácido desoxirribonucleico, desde el punto de vista químico, el ADN es un polímero de nucleótidos, es decir, un polinucleótido. Un polímero es un compuesto formado por muchas unidades simples conectadas entre sí, como si fuera un largo tren formado por vagones

<sup>19</sup> ácido ribonucleico, Es la molécula que dirige las etapas intermedias de la síntesis proteica; el ADN no puede actuar solo, y se vale del ARN para transferir esta información vital durante la síntesis de proteínas

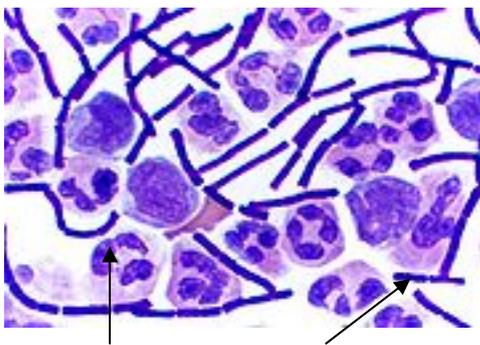
formando dos células, en una célula idéntica a la célula original, mediante la división celular.

- **Diferenciación.** Muchas células pueden sufrir cambios de forma o función en un proceso llamado diferenciación celular. Cuando una célula se diferencia, se forman algunas sustancias o estructuras que no estaban previamente formadas y otras que lo estaban dejan de formarse. La diferenciación es a menudo parte del ciclo celular en que las células forman estructuras especializadas relacionadas con la reproducción, la dispersión o la supervivencia.
- **Señalización.** Las células responden a estímulos químicos y físicos tanto del medio externo como de su interior y, en el caso de células móviles, hacia determinados estímulos ambientales o en dirección opuesta mediante un proceso que se denomina síntesis. Además, frecuentemente las células pueden interactuar o comunicarse con otras células, generalmente por medio de señales o mensajeros químicos, como hormonas, neurotransmisores, factores de crecimiento en seres pluricelulares en complicados procesos de comunicación celular y transducción de señales.
- **Evolución.** A diferencia de las estructuras inanimadas, los organismos unicelulares y pluricelulares evolucionan. Esto significa que hay cambios hereditarios (que ocurren a baja frecuencia en todas las células de modo regular) que pueden influir en la adaptación global de la célula o del organismo superior de modo positivo o negativo. El resultado de la evolución es la selección de aquellos organismos mejor adaptados a vivir en un medio particular.

Las propiedades celulares no tienen por qué ser constantes a lo largo del desarrollo de un organismo: evidentemente, el patrón de expresión de los genes varía en respuesta a estímulos externos, además de factores endógenos. Un aspecto importante a controlar es la pluripotencialidad, característica de algunas células que les permite dirigir su desarrollo hacia un abanico de posibles tipos celulares.

En metazoos, la genética subyacente a la determinación del destino de una célula consiste en la expresión de determinados factores de transcripción específicos del linaje celular al cual va a pertenecer, así como a modificaciones epigenéticas. Además, la introducción de otro tipo de factores de transcripción mediante ingeniería genética en células somáticas basta para inducir la mencionada pluripotencialidad, luego éste es uno de sus fundamentos moleculares<sup>20</sup>.

### Tamaño, Forma y Función



**EUCARIOTA    PROCARIOTA**  
**Comparativa de Tamaño entre**  
**Neutrófilos, células sanguíneas**  
**eucariotas (de mayor tamaño), y bacterias**  
**anthracis, procariotas (de menor tamaño,**  
**con forma de bastón**

El tamaño y la forma de las células depende de sus elementos más periféricos (por ejemplo, la pared, si la hubiere) y de su andamiaje interno (es decir, el citoesqueleto). Además, la competencia por el espacio tisular provoca una morfología característica: por ejemplo, las células vegetales, poliédricas in vivo, tienden a ser esféricas in vitro<sup>21</sup>. Incluso pueden existir parámetros químicos sencillos, como los gradientes de concentración de una sal, que determinen la aparición de una forma compleja.

En cuanto al tamaño, la mayoría de las células son microscópicas, es decir, no son observables a simple vista. A pesar de ser muy pequeñas (un milímetro cúbico de sangre puede contener unos cinco millones de células), el tamaño de las células es extremadamente variable. La célula más pequeña observada, en condiciones normales, corresponde a *Mycoplasma genitalium*, de 0,2  $\mu\text{m}$ , encontrándose cerca del límite teórico de 0,17  $\mu\text{m}$ . Existen bacterias con 1 y 2  $\mu\text{m}$  de

longitud. Las células humanas son muy variables: hematíes de 7 micras, hepatocitos con 20 micras, espermatozoides de 53  $\mu\text{m}$ , óvulos de 150  $\mu\text{m}$  e, incluso, algunas neuronas de en torno a un metro. En las

<sup>20</sup> Welstead, GG, Schorderet, P and Boyer, LA. The reprogramming language of pluripotency. *Curr Opin Genet Dev.* 2008 Apr;18(2):123-9

<sup>21</sup> Azcón-Bieto, J y Talón, M. (2000). *Fundamentos de Fisiología Vegetal. Mc Graw Hill Interamericana de España SAU.* ISBN 84-486-0258-7

células vegetales los granos de polen pueden llegar a medir de 200 a 300  $\mu\text{m}$  y algunos huevos de aves pueden alcanzar entre 1 (codorniz) y 7 cm (avestruz) de diámetro. Para la viabilidad de la célula y su correcto funcionamiento siempre se debe tener en cuenta la relación superficie-volumen. Puede aumentar considerablemente el volumen de la célula y no así su superficie de intercambio de membrana lo que dificultaría el nivel y regulación de los intercambios de sustancias vitales para la célula.

Respecto de su forma, las células presentan una gran variabilidad, e, incluso, algunas no la poseen bien definida o permanente. Pueden ser: fusiformes (forma de huso), estrelladas, prismáticas, aplanadas, elípticas, globosas o redondeadas, etc. Algunas tienen una pared rígida y otras no, lo que les permite deformar la membrana y emitir prolongaciones citoplasmáticas (pseudópodos) para desplazarse o conseguir alimento. Hay células libres que no muestran esas estructuras de desplazamiento pero poseen cilios o flagelos, que son estructuras derivadas de un orgánulo celular (el centrosoma) que dota a estas células de movimiento. De este modo, existen multitud de tipos celulares, relacionados con la función que desempeñan; por ejemplo:

- Células contráctiles que suelen ser alargadas, como las fibras musculares.
- Células con finas prolongaciones, como las neuronas que transmiten el impulso nervioso.
- Células con microvellosidades o con pliegues, como las del intestino para ampliar la superficie de contacto y de intercambio de sustancias.
- Células cúbicas, prismáticas o aplanadas como las epiteliales que recubren superficies como las losas de un pavimento.

## Estudio de las células

Los biólogos utilizan diversos instrumentos para lograr el conocimiento de las células. Obtienen información de sus formas, tamaños y componentes, que les sirve para comprender además las funciones que en ellas se realizan. Desde las primeras observaciones de células, hace más de 300 años, hasta la época actual, las técnicas y los aparatos se han ido perfeccionando, originándose una rama más de la Biología: la Microscopía. Dado el pequeño tamaño de la gran mayoría de las células, el uso del microscopio es de enorme valor en la investigación biológica. En la actualidad, los biólogos utilizan dos tipos básicos de microscopio: los ópticos y los electrónicos.

## La célula Procariota.

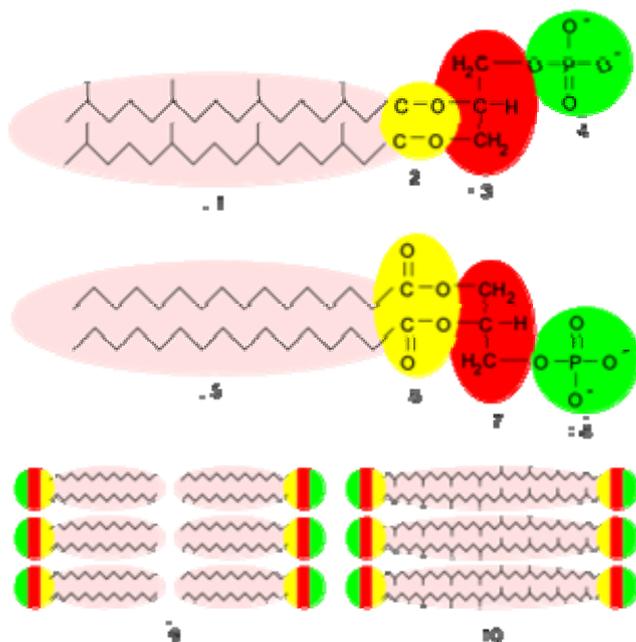
Las células procariotas son pequeñas y menos complejas que las eucariotas. Contienen ribosomas pero carecen de sistemas de endomembranas (esto es, orgánulos delimitados por membranas biológicas, como puede ser el núcleo celular). Por ello poseen el material genético en el citosol. Sin embargo, existen excepciones: algunas bacterias fotosintéticas poseen sistemas de membranas internos. También en el Filo Planctomycetes existen organismos como *Pirellula* que rodean su material genético mediante una membrana intracitoplasmática y *Gemmata obscuriglobus* que lo rodea con doble membrana. Ésta última posee además otros compartimentos internos de membrana, posiblemente conectados con la membrana externa del nucleóide y con la membrana nuclear, que no posee peptidoglucano.

Por lo general podría decirse que los procariotas carecen de citoesqueleto. Sin embargo se ha observado que algunas bacterias, como *Bacillus subtilis*, poseen proteínas tales como MreB y mbl que actúan de un modo similar a la actina y son importantes en la morfología celular. Fusinita van den Ent, en *Nature*, va más allá, afirmando que los citoesqueletos de actina y tubulina tienen origen procariótico.

De gran diversidad, los procariotas sustentan un metabolismo extraordinariamente complejo, en algunos casos exclusivos de ciertos taxa, como algunos grupos de bacterias, lo que incide en su versatilidad ecológica. Los procariotas se clasifican, según Carl Woese<sup>22</sup>, en arqueas y bacterias.

## Arqueas

Las arqueas poseen un diámetro celular comprendido entre 0,1 y 15  $\mu\text{m}$ , aunque las formas filamentosas pueden ser mayores por agregación de células. Presentan multitud de formas distintas: incluso las hay descritas cuadradas y planas. Algunas arqueas tienen flagelos y son móviles.



**Estructura bioquímica de la membrana de arqueas (arriba) comparada con la de bacterias y eucariotas (en medio): nótese la presencia de enlaces éter (2) en sustitución de los tipo éster (6) en los fosfolípidos.**

Las arqueas, al igual que las bacterias, no tienen membranas internas que delimiten orgánulos. Como todos los organismos presentan ribosomas, pero a diferencia de los encontrados en las bacterias que son sensibles a ciertos agentes antimicrobianos, los de las arqueas, más cercanos a los eucariotas, no lo son. La membrana celular tiene una estructura similar a la de las demás células, pero su composición química es única, con enlaces tipo éter en sus lípidos. Casi todas las arqueas poseen una pared celular (algunos *Thermoplasma* son la excepción) de composición característica, por ejemplo, no contienen peptidoglicano (mureína), propio de bacterias.

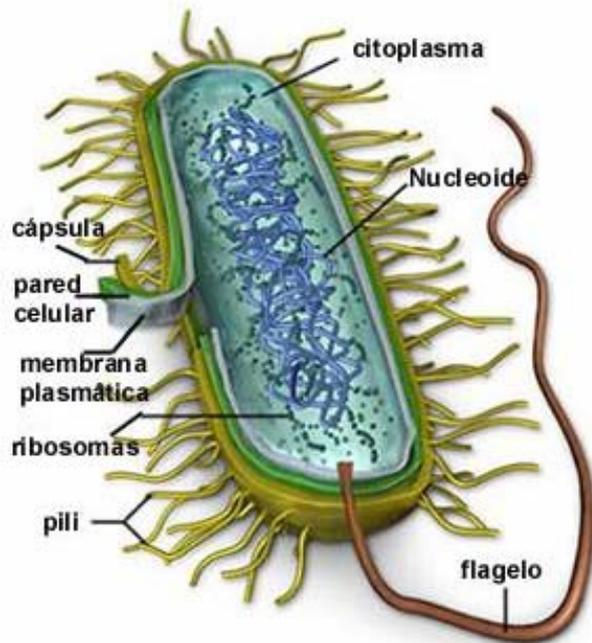
No obstante pueden clasificarse bajo la tinción de Gram, de vital importancia en la taxonomía de bacterias; sin embargo, en arqueas, poseedoras de una estructura de pared en absoluto común a la bacteriana, dicha tinción es aplicable pero carece de valor taxonómico. El orden Methanobacteriales tiene una capa de pseudomureína, que provoca que dichas arqueas respondan como positivas a la tinción de Gram.

Como en casi todos los procariotas, las células de las arqueas carecen de núcleo, y presentan un sólo cromosoma circular. Existen elementos extracromosómicos, tales como plásmidos. Sus genomas son de pequeño tamaño, sobre 2-4 millones de pares de bases. También es característica la presencia de ARN polimerasas de constitución compleja y un gran número de nucleótidos modificados en los ácidos ribonucleicos ribosomales. Por otra parte, su ADN se empaqueta en forma de nucleosomas, como en los eucariotas, gracias a proteínas semejantes a las histonas y algunos genes poseen intrones. Pueden reproducirse por fisión binaria o múltiple, fragmentación o gemación.

<sup>22</sup> Carl Woese (n. 15 de julio de 1928) es un microbiólogo estadounidense creador de la nueva taxonomía molecular basada en la comparación entre especies de la llamada secuencia del ARN ribosomal 16S, que comparten todos los seres vivos del planeta y que apenas ha sufrido cambios desde la aparición en la tierra de las primeras formas de vida microbiológicas. Sus análisis filogenéticos en 1977 lo llevaron al descubrimiento de un nuevo dominio, el Archaea. Woese ingresó en la Academia Nacional de Ciencias en 1988, en 1992 recibió la medalla Leeuwenhoek, y en 2000 la Medalla nacional de Ciencias. En 2003 fue galardonado con el premio Crafoord por la Academia sueca de Ciencias.

## Bacterias

Las bacterias son organismos relativamente sencillos, de dimensiones muy reducidas, de apenas unas micras en la mayoría de los casos. Como otros procariontes, carecen de un núcleo delimitado por una membrana, aunque presentan un nucleóide, una estructura elemental que contiene una gran molécula generalmente circular de ADN.



### Estructura de Célula Procarionte

Gram, se clasifican a las bacterias en Gram positivas y Gram negativas. El espacio comprendido entre la membrana celular y la pared celular (o la membrana externa, si ésta existe) se denomina espacio periplásmico. Algunas bacterias presentan una cápsula. Otras son capaces de generar endosporas (estadios latentes capaces de resistir condiciones extremas) en algún momento de su ciclo vital. Entre las formaciones exteriores propias de la célula bacteriana destacan los flagelos (de estructura completamente distinta a la de los flagelos eucariotas) y los pili<sup>24</sup>.

La mayoría de las bacterias disponen de un único cromosoma circular y suelen poseer elementos genéticos adicionales, como distintos tipos de plásmidos. Su reproducción, binaria y muy eficiente en el tiempo, permite la rápida expansión de sus poblaciones, generándose un gran número de células que son virtualmente clones, esto es, idénticas entre sí<sup>25</sup>.

## La célula Eucariota.

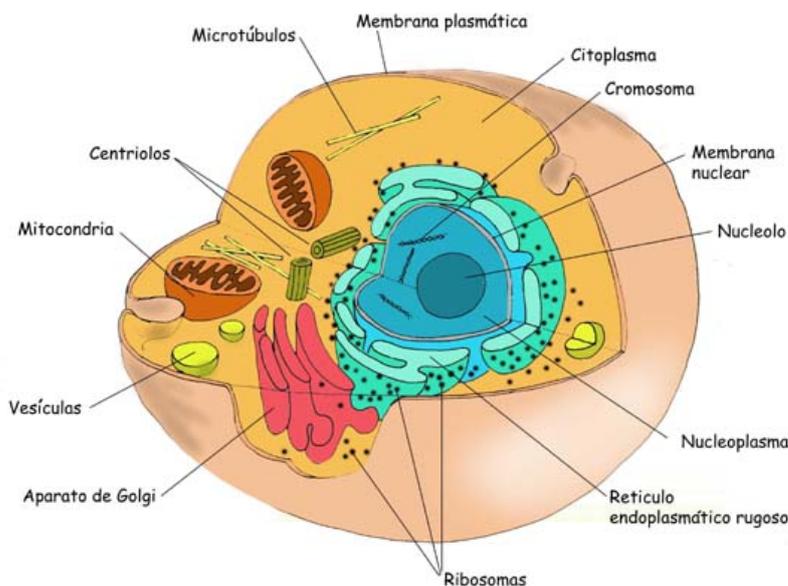
Las células eucariotas son el exponente de la complejidad celular actual<sup>26</sup>. Presentan una estructura básica relativamente estable caracterizada por la presencia de distintos tipos de orgánulos intracitoplasmáticos especializados, entre los cuales destaca el núcleo, que alberga el material genético.

<sup>23</sup> Berg J., Tymoczko J. and Stryer L. (2002) *Biochemistry*. W. H. Freeman and Company ISBN 0-7167-4955-6

<sup>24</sup> estructuras de adhesión y relacionadas con la parasexualidad.

<sup>25</sup> Watson, J. D.; Baker, T. A.; Bell, S. P.; Gann, A.; Levine, M. et Losick, R (2004). *Molecular Biology of the Gene, Fifth edition edición*, San Francisco: Benjamin Cummings. ISBN 0-321-22368-3.

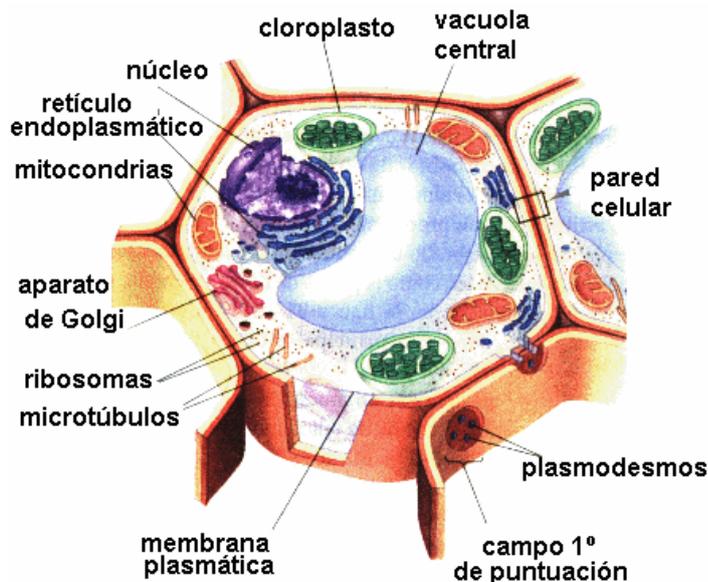
<sup>26</sup> Randall, D.; Burggren, W. et French, K. (1998). *Eckert Fisiología animal*, 4ª edición. ISBN 84-486-0200-5.



**Diagrama de una célula animal:**

y presentan centriolos (que son agregados de microtúbulos cilíndricos que contribuyen a la formación de los cilios y los flagelos y facilitan la división celular).

Las células de los vegetales, por su lado, presentan una pared celular compuesta principalmente de celulosa, disponen de plastos como cloroplastos (orgánulo capaz de realizar la fotosíntesis), cromoplastos (orgánulos que acumulan pigmentos) o leucoplastos (orgánulos que acumulan el almidón fabricado en la fotosíntesis), poseen vacuolas de gran tamaño que acumulan sustancias de reserva o de desecho producidas por la célula y finalmente cuentan también con plasmodesmos, que son conexiones citoplasmáticas que permiten la circulación directa de las sustancias del citoplasma de una célula a otra, con continuidad de sus membranas plasmáticas<sup>27</sup>.



**Diagrama de una célula Vegetal.**

Especialmente en los organismos pluricelulares, las células pueden alcanzar un alto grado de especialización. Dicha especialización o diferenciación es tal que, en algunos casos, compromete la propia viabilidad del tipo celular en aislamiento. Así, por ejemplo, las neuronas dependen para su supervivencia de las células gliales. Por otro lado, la estructura de la célula varía dependiendo de la situación taxonómica del ser vivo: de este modo, las células vegetales difieren de las animales, así como de las de los hongos. Por ejemplo, las células animales carecen de pared celular, son muy variables, no tiene plastos, puede tener vacuolas pero no son muy grandes

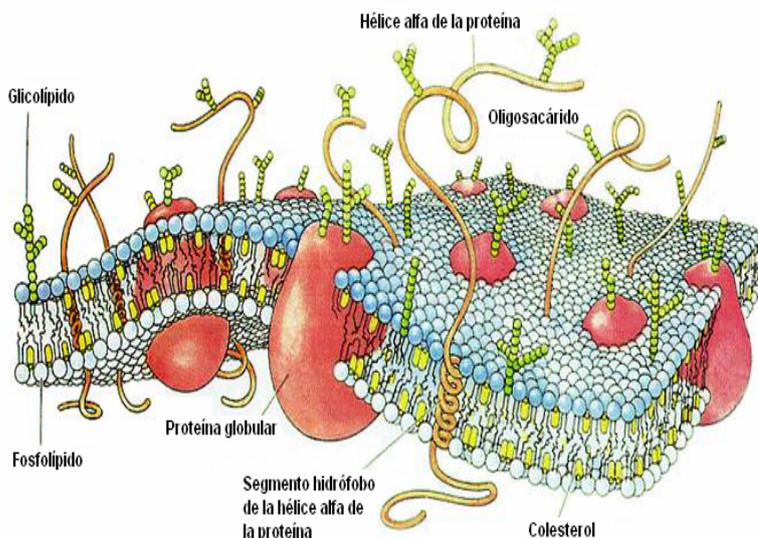
### Compartimentos

Las células son entes dinámicos, con un metabolismo celular interno de gran actividad cuya estructura es un flujo entre rutas anastomosadas. Un fenómeno observado en todos los tipos celulares es la compartimentalización, que consiste en una heterogeneidad que da lugar a entornos más o menos definidos (rodeados o no mediante membranas biológicas) en las cuales existe un microentorno que aglutina a los elementos implicados en una ruta biológica.

<sup>27</sup> Taiz, Lincoln; Zeiger, Eduardo (2006). Plant Physiology, 4ª edición edición, Sunderland, USA: Sinauer Associates, Inc.. ISBN 978-0-87893-856-8.

Esta compartimentalización alcanza su máximo exponente en las células eucariotas, las cuales están formadas por diferentes estructuras y orgánulos que desarrollan funciones específicas, lo que supone un método de especialización espacial y temporal. No obstante, células más sencillas, como los procariotas, ya poseen especializaciones semejantes.

## Membrana Plasmática y superficie celular



**Esquema de una membrana celular. Se observa la bicapa de fosfolípidos, las proteínas y otras moléculas asociadas que permiten las funciones inherentes a esta organela.**

Las células están separadas del medio que las rodea por una delgada lámina denominada membrana plasmática, que define los límites de las mismas.

Hace 3700 millones de años, la formación espontánea de una estructura similar a la membrana plasmática de las células actuales permitió aparición de los primeros seres vivos. Sin esta barrera protectora, las células estarían expuestas a los rigores del mundo externo, no podrían regular su medio interno y, en consecuencia, no serían viables. La membrana plasmática no aísla a la célula completamente sino que constituye una barrera altamente selectiva, que tiene la propiedad de regular el intercambio de materiales entre la célula y el medio que la rodea.

La membrana es una estructura muy delgada: sólo tiene un espesor de 6 a 10 nm ( $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$ ). Por lo tanto, se necesitarían mil membranas plasmáticas apiladas, una sobre otra, para igualar el espesor de esta hoja de papel. Precisamente debido a su delgadez, cuando se examina una célula al microscopio óptico convencional, puede observarse sin dificultad el interior de la misma; en el mejor de los casos podrá apreciarse el contorno de la membrana, pero nunca podrá distinguirse su ultraestructura. Recién las primeras microfotografías al microscopio electrónico demostraron que la ultraestructura de las membranas era siempre la misma. Esta estructura se denominó unidad de membrana y la misma no sólo es válida para la membrana plasmática, sino para casi todas las membranas celulares.

La composición de la membrana plasmática varía entre células dependiendo de la función o del tejido en la que se encuentre, pero posee elementos comunes. Está compuesta por una doble capa de fosfolípidos, por proteínas unidas no covalentemente a esa bicapa, y por glúcidos unidos covalentemente a lípidos o proteínas. Generalmente, las moléculas más numerosas son las de lípidos; sin embargo, las proteínas, debido a su mayor masa molecular, representan aproximadamente el 50% de la masa de la membrana<sup>28</sup>.

Un modelo que explica el funcionamiento de la membrana plasmática es el modelo del mosaico fluido, de J. S. Singer y Garth Nicolson (1972)<sup>29</sup>, que desarrolla un concepto de unidad termodinámica basada en las interacciones hidrófobas entre moléculas y otro tipo de enlaces no covalentes.

De acuerdo al mismo las membranas son “*disoluciones bidimensionales de lípidos y proteínas.*” Según este modelo, la estructura de la membrana sería una delgada lámina formada por dos capas superpuestas de

<sup>28</sup> Mathews, C. K.; Van Holde, K.E et Ahern, K.G (2003). «6», Bioquímica, 3 edición, pp. 204 y ss. ISBN 84-7892-053-2.

<sup>29</sup> Singer, SJ; Nicolson, GL (febrero de 1972). «The fluid mosaic model of the structure of cell membranes (abstract)» Science. Vol. 175. n.º 23. pp. 720–3. 4333397



Dicho material genético se encuentra inmerso en una actividad continua de regulación de la expresión génica; las ARN polimerasas transcriben ARN mensajero continuamente, que, exportado al citosol, es traducido a proteína, de acuerdo a las necesidades fisiológicas. Asimismo, dependiendo del momento del ciclo celular, dicho ADN puede entrar en replicación, como paso previo a la mitosis.

No obstante, las células eucarióticas poseen material genético extranuclear: concretamente, en mitocondrias y plastos, si los hubiere; estos orgánulos conservan una independencia genética parcial del genoma nuclear.

#### *Síntesis y degradación de Macromoléculas*

La definición de célula nos dice que el 99,5% de su peso **está dominado por 6 elementos químicos: el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo; el agua, representa el 70% de su peso** y gran parte de las reacciones intracelulares se producen en el medio acuoso. Dentro del citosol, esto es, la matriz acuosa que alberga a los orgánulos y demás estructuras celulares, se encuentran inmersos multitud de tipos de maquinaria de metabolismo celular: orgánulos, inclusiones, elementos del citoesqueleto, enzimas. De hecho, estas últimas corresponden al 20% de las enzimas totales de la célula.

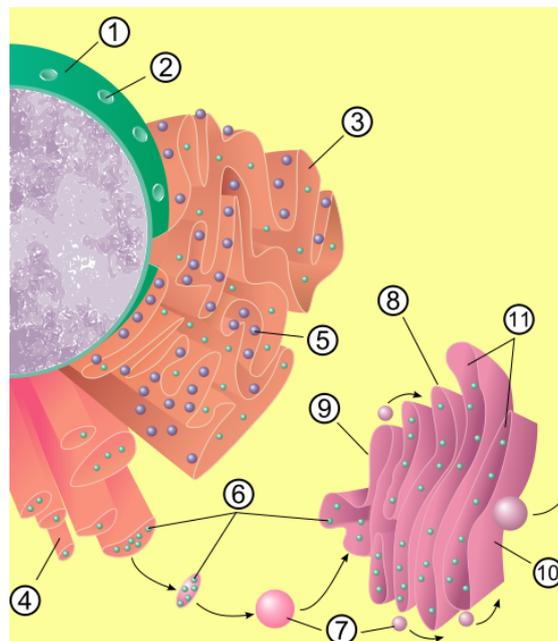
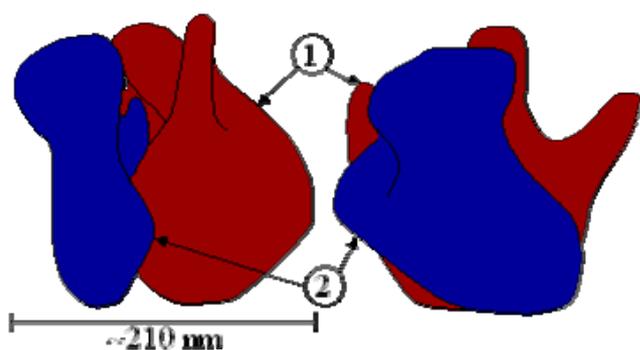


Imagen de un núcleo, el retículo endoplasmático y el aparato de Golgi; 1, Núcleo. 2, Poro nuclear. 3, Retículo endoplasmático rugoso (REr). 4, Retículo endoplasmático liso (REI). 5, Ribosoma en el RE rugoso. 6, Proteínas siendo transportadas. 7, Vesícula (transporte). 8, Aparato de Golgi. 9, Lado cis del aparato de Golgi. 10, Lado trans del aparato de Golgi. 11, Cisternas del aparato de Golgi.

**Ribosoma:** Los ribosomas, visibles al microscopio electrónico como partículas esféricas, son complejos supramoleculares encargados de ensamblar proteínas a partir de la información genética que les llega del ADN transcrita en forma de ARN mensajero.



Estructura de los ribosomas; 1: subunidad mayor, 2: subunidad menor.

Elaborados en el núcleo, desempeñan su función de síntesis de proteínas en el citoplasma. Están formados por ARN ribosómico y por diversos tipos de proteínas. Estructuralmente, tienen dos subunidades. En las células, estos orgánulos aparecen en diferentes estados de disociación. Cuando están completos, pueden estar aislados o formando grupos (polisomas). También pueden aparecer asociados al retículo endoplasmático rugoso o a la envoltura nuclear.

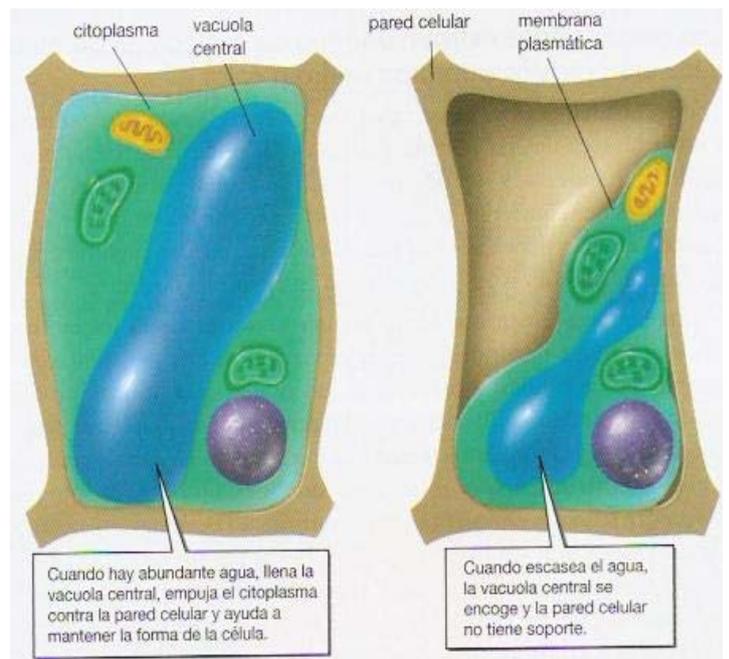
**Retículo endoplasmático:** El retículo endoplasmático es orgánulo vesicular interconectado que forma cisternas, tubos aplanados y sáculos comunicados entre sí. Intervienen en funciones relacionadas con la síntesis proteica, glicosilación de proteínas, metabolismo de lípidos y algunos esteroides, detoxificación, así como el tráfico de vesículas. En células especializadas, como las miofibrillas o células musculares, se diferencia en el retículo sarcoplásmico, orgánulo decisivo para que se produzca la contracción muscular.

**Aparato de Golgi:** El aparato de Golgi es un orgánulo formado por apilamientos de sáculos denominados dictiosomas, si bien, como ente dinámico, éstos pueden interpretarse como estructuras puntuales fruto de la coalescencia de vesículas<sup>30</sup>.

Recibe las vesículas del retículo endoplasmático rugoso que han de seguir siendo procesadas. Dentro de las funciones que posee el aparato de Golgi se encuentran la glicosilación de proteínas, selección, destinación, glicosilación de lípidos y la síntesis de polisacáridos de la matriz extracelular. Posee tres compartimientos; uno proximal al retículo endoplasmático, denominado «compartimento cis», donde se produce la fosforilación de las manosas de las enzimas que han de dirigirse al lisosoma; el «compartimento intermedio», con abundantes manosidasas y N-acetil-glucosamina transferasas; y el «compartimento o red trans», el más distal, donde se transfieren residuos de galactosa y ácido siálico, y del que emergen las vesículas con los diversos destinos celulares.

**Lisosoma:** Los lisosomas son orgánulos que albergan multitud de enzimas hidrolíticas. De morfología muy variable, no se ha demostrado su existencia en células vegetales. Una característica que agrupa a todos los lisosomas es la posesión de hidrolasas ácidas: proteasas, nucleasas, glucosidasas, lisozima, arilsulfatasas, lipasas, fosfolipasas y fosfatasas. Procede de la fusión de vesículas procedentes del aparato de Golgi, que, a su vez, se fusionan en un tipo de orgánulo denominado endosoma temprano, el cual, al acidificarse y ganar en enzimas hidrolíticos, pasa a convertirse en el lisosoma funcional. Sus funciones abarcan desde la degradación de macromoléculas endógenas o procedentes de la fagocitosis a la intervención en procesos de apoptosis.

**Vacuola vegetal:** Las vacuolas vegetales, numerosas y pequeñas en células meristemáticas y escasas y grandes en células diferenciadas, son orgánulos exclusivos de los representantes del mundo vegetal. Tres cuartas partes o más del volumen de muchas células vegetales están ocupadas por una vacuola central grande. Inmersas en el citosol, están delimitadas por el tonoplasto, una membrana lipídica. Sus funciones son: facilitar el intercambio con el medio externo, mantener la turgencia celular, la digestión celular y la acumulación de sustancias de reserva y subproductos del metabolismo<sup>31</sup>. También sirve como tiradero de desechos peligrosos, que en muchos casos las células vegetales no pueden excretar. Algunas células vegetales almacenan en sus vacuolas sustancias tóxicas, como ácido sulfúrico, y ello disuade a los animales masticar las hojas por demás sabrosas.



**Vacuola Vegetal**

**Inclusión citoplasmática:** Las inclusiones son acúmulos nunca delimitados por membrana de sustancias de diversa índole, tanto en células vegetales como animales. Típicamente se trata de sustancias de reserva que se conservan como acervo metabólico: almidón, glucógeno, triglicéridos, proteínas aunque también existen de pigmentos.

<sup>30</sup> Glick, B.S. and Malhotra, V. (1998). «The curious status of the Golgi apparatus» Cell. Vol. 95. pp. 883-889

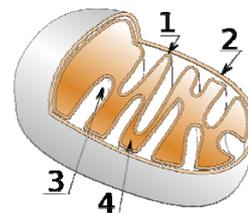
<sup>31</sup> Taiz, Lincoln; Zeiger, Eduardo (2006). Plant Physiology, 4ª edición edición, Sunderland, USA: Sinauer Associates, Inc.. ISBN 978-0-87893-856-8.

### Conversión Energética.

El metabolismo celular está basado en la transformación de unas sustancias químicas, denominadas metabolitos, en otras; dichas reacciones químicas transcurren catalizadas mediante enzimas.

Si bien buena parte del metabolismo sucede en el citosol, como la glucólisis, existen procesos específicos de orgánulos<sup>32</sup>.

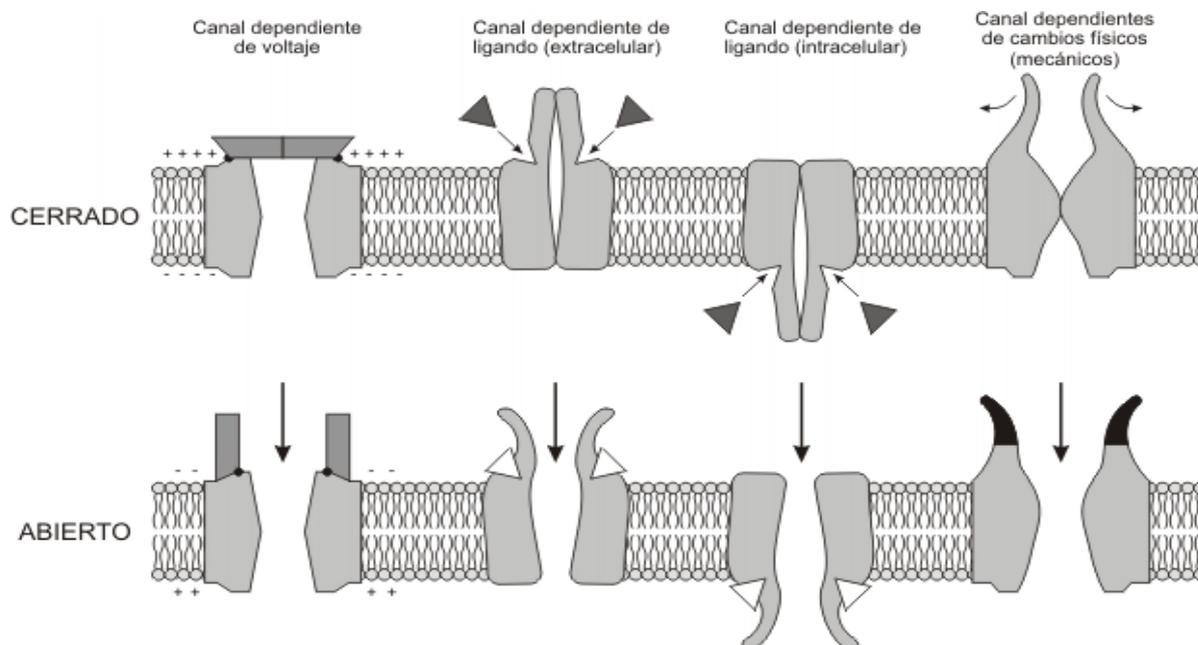
**Mitocondria:** Las mitocondrias son orgánulos de aspecto, número y tamaño variable que intervienen en el ciclo de Krebs<sup>33</sup>, fosforilación oxidativa y en la cadena de transporte de electrones de la respiración. Presentan una doble membrana, externa e interna, que dejan entre ellas un espacio perimitocondrial; la membrana interna, plegada en crestas hacia el interior de la matriz mitocondrial, posee una gran superficie. En su interior posee generalmente una sola molécula de ADN, el genoma mitocondrial, típicamente circular, así como ribosomas más semejantes a los bacterianos que a los eucariotas. Según la teoría endosimbiótica, se asume que la primera protomitocondria era un tipo de proteobacteria<sup>34</sup>.



**Modelo de una mitocondria:** 1 membrana interna; 2, membrana externa; 3 cresta mitocondrial; 4 matriz mitocondrial.

### Canales Iónicos.

Los canales iónicos<sup>35</sup> son “poros” o “túneles” formados por una o varias proteínas transmembrana. En general, son de tipo multipaso, con un interior hidrofílico. Existen canales iónicos en todas las células, tanto en la membrana plasmática como en las membranas de los orgánulos. Son altamente selectivos, porque cada canal sólo puede transportar un tipo de ion ( $K^+$ ,  $Na^+$ , etc.). Los iones se mueven a través del canal a una velocidad muy elevada (10<sup>8</sup> iones por segundo).



### Diferentes tipos de canales iónicos.

<sup>32</sup> Lehninger, Albert (1993). Principles of Biochemistry, 2nd Ed.. Worth Publishers. ISBN 0-87901-711-2

<sup>33</sup> El ciclo de Krebs (también llamado ciclo del ácido cítrico o ciclo de los ácidos tricarbóxicos) es una ruta metabólica, es decir, una sucesión de reacciones químicas, que forma parte de la respiración celular en todas las células aerobias.

<sup>34</sup> Futuyma DJ (2005). «On Darwin's Shoulders» Natural History. Vol. 114. n.º 9. pp. 64–68.

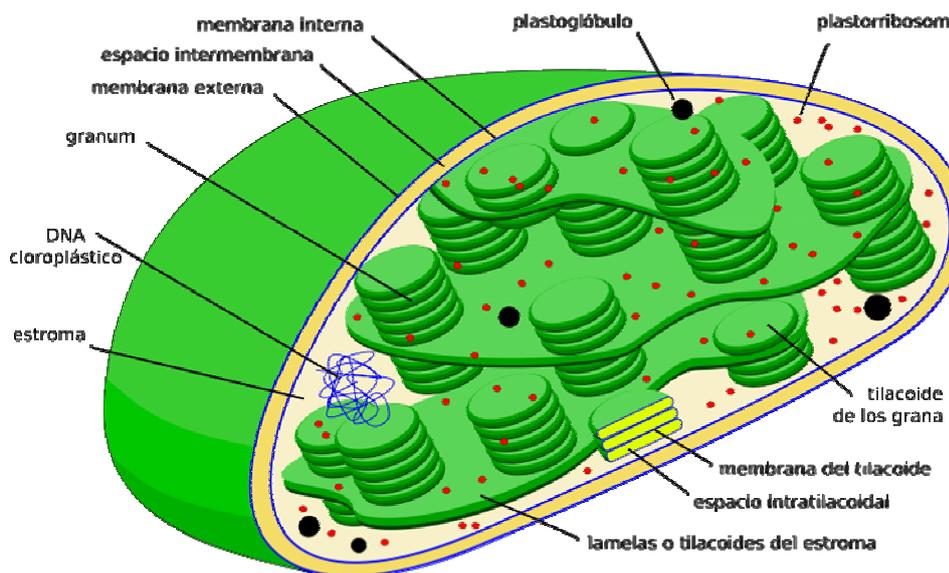
<sup>35</sup> Dos libros de texto que discuten acerca de los canales iónicos son: **Neurociencia (II edición)** Dale Purves, George J. Augustine, David Fitzpatrick, Lawrence. C. Katz, Anthony-Samuel LaMantia, James O. McNamara, S. Mark Williams, editores. Publicado por Sinauer Associates, Inc. (2001) y **Basic Neurochemistry: Molecular, Cellular, and Medical Aspects (VI edición)** por George J Siegel, Bernard W Agranoff, R. W Albers, Stephen K Fisher y Michael D Uhler publicado por Lippincott, Williams & Wilkins (1999).

El transporte de un ion es impulsado por el gradiente electroquímico. O sea que un ion puede difundir de un lado a otro de la membrana, gracias a la diferencia de concentración como a la diferencia de carga eléctrica a ambos lados de la membrana.

La mayoría de los canales no permanecen abiertos permanentemente, sino que se abren en respuesta a estímulos. Estos estímulos pueden ser tanto la presencia de una sustancia inductora como una modificación de la carga eléctrica de la membrana (modificación del potencial eléctrico). Los canales que se abren o cierran en presencia de sustancias inductoras (ligandos) son llamados dependientes de ligando y los otros, dependientes de voltaje.

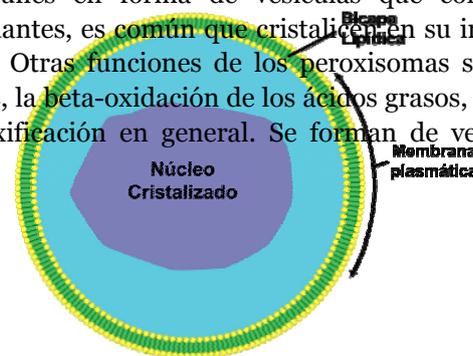
### Estructura de un cloroplasto

**Cloroplasto:** Los cloroplastos son los orgánulos celulares que en los organismos eucariotas fotosintéticos se ocupan de la fotosíntesis. Están limitados por una envoltura formada por dos membranas concéntricas y contienen vesículas, los tilacoides<sup>36</sup>, donde se encuentran organizados los pigmentos y demás moléculas implicadas en la conversión de la energía luminosa en energía química. Además de esta función, los plastidios intervienen en el metabolismo intermedio, produciendo energía y poder reductor, sintetizando bases púricas y pirimidínicas, algunos aminoácidos y todos los ácidos grasos. Además, en su interior es común la acumulación de sustancias de reserva, como el almidón. Se considera que poseen analogía con las cianobacterias.



**Estructura de un Cloroplasto.**

**Peroxisoma:** Los peroxisomas son orgánulos muy comunes en forma de vesículas que contienen abundantes enzimas de tipo oxidasa y catalasa; de tan abundantes, es común que cristalicen en su interior. Estas enzimas cumplen funciones de detoxificación celular. Otras funciones de los peroxisomas son: las oxidaciones flavínicas generales, el catabolismo de las purinas, la beta-oxidación de los ácidos grasos, el ciclo del glioxilato, el metabolismo del ácido glicólico y la detoxificación en general. Se forman de vesículas procedentes del retículo endoplasmático.



**Modelo de la estructura de un peroxisoma.**

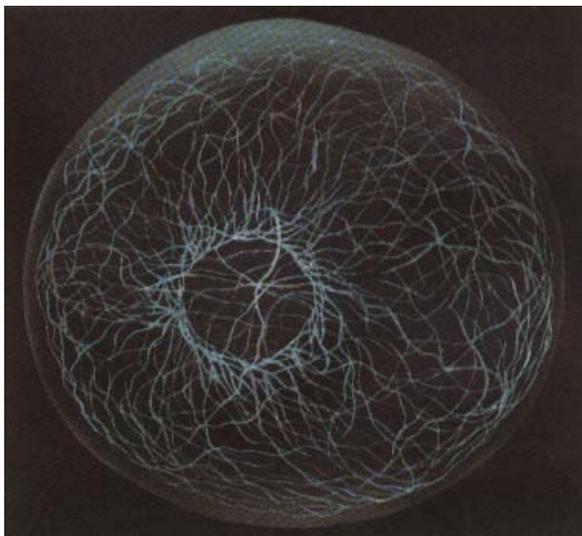
### Citoesqueleto

<sup>36</sup> Los tilacoides son sacos aplanados, o vesículas, que forman parte de la estructura de la membrana interna del cloroplasto; sitio de las reacciones captadoras de luz de la fotosíntesis y de la fotofosforilación; las pilas de tilacoides forman colectivamente las granas

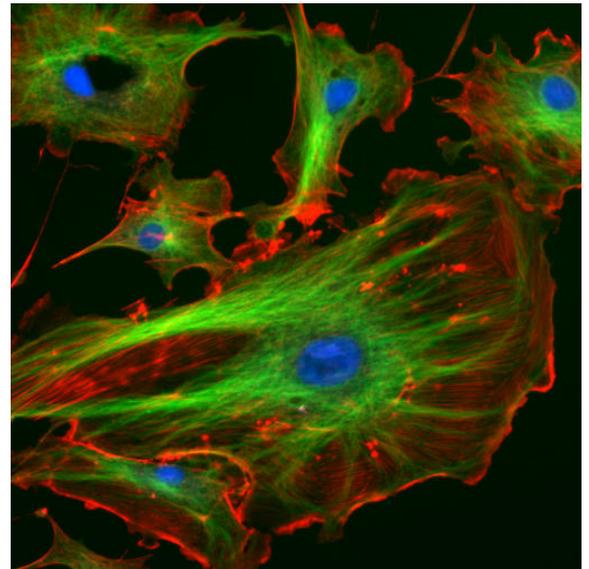
Las células poseen un andamiaje que permite el mantenimiento de su forma y estructura, pero más aún, éste es un sistema dinámico que interactúa con el resto de componentes celulares generando un alto grado de orden interno. Dicho andamiaje está formado por una serie de proteínas que se agrupan dando lugar a estructuras filamentosas que, mediante otras proteínas, interactúan entre ellas dando lugar a una especie de retículo. El mencionado andamiaje recibe el nombre de citoesqueleto, y sus elementos mayoritarios son: los microtúbulos, los microfilamentos y los filamentos intermedios.

**Microfilamentos:** Los microfilamentos o filamentos de actina están formados por una proteína globular, la actina, que puede polimerizar dando lugar a estructuras filiformes. Dicha actina se expresa en todas las células del cuerpo y especialmente en las musculares ya que está implicada en la contracción muscular, por interacción con la miosina. Además, posee lugares de unión a ATP, lo que dota a sus filamentos de polaridad. Puede encontrarse en forma libre o polimerizarse en microfilamentos, que son esenciales para funciones celulares tan importantes como la movilidad y la contracción de la célula durante la división celular.

**Microtúbulos:** Los microtúbulos son estructuras tubulares de 25 nm de diámetro exterior y unos 12 nm de diámetro interior, con longitudes que varían entre unos pocos nanómetros a micrómetros, que se originan en los centros organizadores de microtúbulos y que se extienden a lo largo de todo el citoplasma. Se hallan en las células eucariotas y están formadas por la polimerización de un dímero de dos proteínas globulares, la alfa y la beta tubulina. Las tubulinas poseen capacidad de unir GTP. Los microtúbulos intervienen en diversos procesos celulares que involucran desplazamiento de vesículas de secreción, movimiento de orgánulos, transporte intracelular de sustancias, así como en la división celular (mitosis y meiosis) y que, junto con los microfilamentos y los filamentos intermedios, forman el citoesqueleto. Además, constituyen la estructura interna de los cilios y los flagelos.



**Citoesqueleto celular formado por fibras de proteínas, tales como Microtubulos, filamentos intermedios y microfilamentos. Esta red de fibras dan la consistencia gelatinosa al citosol, dejan espacio a los organelos y permiten el tráfico de organelos y vesículas a través del citoplasma.**



**Citoesqueleto eucariota: microfilamentos en rojo, microtúbulos en verde y núcleo en azul.**

**Filamentos intermedios:** Los filamentos intermedios son componentes del citoesqueleto. Formados por agrupaciones de proteínas fibrosas, su nombre deriva de su diámetro, de 10 nm, menor que el de los microtúbulos, de 24 nm, pero mayor que el de los microfilamentos, de 7 nm. Son ubicuos en las células animales, y no existen en plantas ni hongos. Forman un grupo heterogéneo, clasificado en cinco familias: las queratinas, en células epiteliales; los neurofilamentos, en neuronas; los gliofilamentos, en células gliales; la desmina, en músculo liso y estriado; y la vimentina, en

células derivadas del mesénquima.

**Centríolos:** Los centriolos son una pareja de estructuras que forman parte del citoesqueleto de células animales. Semejantes a cilindros huecos, están rodeados de un material proteico denso llamado material pericentriolar; todos ellos forman el centrosoma o centro organizador de microtúbulos que permiten la polimerización de microtúbulos de dímeros de tubulina que forman parte del citoesqueleto. Los centriolos se posicionan perpendicularmente entre sí. Sus funciones son participar en la mitosis, durante la cual generan el huso acromático, y en la citocinesis, así como, se postula, intervenir en la nucleación de microtúbulos.

**Cilios y flagelos:** Se trata de especializaciones de la superficie celular con motilidad; con una estructura basada en agrupaciones de microtúbulos, ambos se diferencian en la mayor longitud y menor número de los flagelos, y en la mayor variabilidad de la estructura molecular de estos últimos.

## CEMs en el cuerpo humano y patologías asociadas.

### Introducción.

Nuestro organismo se mantiene protegido de las acciones agresivas del medio ambiente, gracias al funcionamiento de tres sistemas reguladores. Por un lado el sistema endocrino, que ejerce un perfecto control de comunicación de los otros dos sistemas; el sistema inmune y el sistema nervioso.

Es por ello se habla de sistema neuroinmunoendocrino, responsable del equilibrio funcional, esto es, la homeostasis corporal, trabajando en íntima comunicación.

Esta comunicación se debe a que las células de los tres sistemas antes mencionados comparten receptores y mediadores específicos de los otros. De esta manera se explica una serie de hechos que se comprueban en la práctica, como que las situaciones de depresión, estrés emocional o ansiedad, se acompañen de una mayor propensión a padecer procesos infecciosos, cáncer o enfermedades autoinmunes, lo que supone una peor salud y menor expectativa de vida. Por el contrario, vivir en situaciones agradables y en un estado optimista nos ayuda a superar enfermedades, y por lo general tener una mejor salud. Por otra parte, se ha confirmado que alteraciones en el sistema inmune, como puede suceder en un proceso infeccioso, modifican negativamente la funcionalidad del sistema nervioso y endocrino, y viceversa.

En todos los casos mencionados, las alteraciones de la salud se acompañan de un aumento significativo del estrés oxidativo, existiendo un desbalance del estado redox de la célula. Por ello, cualquier incidencia en uno de los sistemas reguladores afecta a los demás, lo que tiene enorme trascendencia en medicina, a la hora de buscar las causas de determinadas patologías.

### Células - Campos electromagnéticos

Conviene recordar que somos seres bioquímicos, pero también somos de naturaleza bioeléctrica o mejor dicho de naturaleza bioelectromagnética, ya que por definición las cargas eléctricas (electricidad) en movimiento constituyen el magnetismo. Toda célula viva se comporta como un dipolo debido a la diferencia de potencial a través de la membrana celular, entre -10 y 100 mV. Por otro lado, la Tierra se encuentra rodeada de un campo magnético estático de un valor promedio de 50  $\mu\text{T}$  dependiendo del punto terrestre donde se tome y con manifestaciones naturales esporádicas de tormentas magnéticas de origen solar que hacen variar este campo entre 30 a 70  $\mu\text{T}$ <sup>37</sup>. Por tanto, los seres vivos han estado sometidos durante millones de años a influencias magnéticas naturales, que probablemente tuvieron y tienen influencia sobre diversas funciones biológicas. Cuando los campos magnético y eléctrico varían en el tiempo constituyen el campo electromagnético.

Con la energía eléctrica y las telecomunicaciones se inicia la presencia en el ambiente laboral y doméstico de las radiaciones electromagnéticas (radiaciones no ionizantes) con frecuencias de ondas entre los 100 KHz a 300 GHz. La proliferación en el número de fuentes que emiten radiaciones electromagnéticas ha traído como consecuencia la preocupación por conocer la influencia que sobre la salud tiene este factor físico.

### Interacción biológica de los campos electromagnéticos

La naturaleza de la interacción entre una emisión electromagnética y el material biológico depende de la frecuencia de la emisión.

La exposición a campos eléctricos y magnéticos externos de frecuencias extremadamente bajas induce campos eléctricos y corrientes dentro del cuerpo. El campo eléctrico y la densidad de corriente inducidos localmente son de especial interés debido a que están relacionados con la estimulación de los tejidos excitables, tales como los nervios y los músculos.

<sup>37</sup> Guidelines in limits of exposure to static magnetic fields, International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

Los cuerpos de las personas y animales perturban significativamente la distribución espacial de un campo eléctrico de ELF. En bajas frecuencias, el cuerpo es un buen conductor debido a su composición electrolítica y las líneas del campo perturbado externas al cuerpo son casi perpendiculares a la superficie de éste. A través de las membranas celulares y de los fluidos corporales intra y extracelulares existen corrientes iónicas, especialmente en las células nerviosas y musculares a las cuales debe estar asociado un campo magnético.

En la superficie del cuerpo expuesto se inducen cargas oscilantes, que a su vez inducen corrientes dentro del cuerpo. Las características fundamentales de la dosimetría<sup>38</sup>, según el informe de la OMS<sup>39</sup>, para la exposición de las personas a campos eléctricos ELF son las siguientes:

- El campo eléctrico dentro del cuerpo suele ser de cinco a seis órdenes de magnitud inferior al campo eléctrico externo.
- Cuando la exposición es fundamentalmente al campo vertical, la dirección predominante de los campos inducidos también es vertical.
- Para un campo eléctrico externo determinado, los campos inducidos más fuertes corresponden al cuerpo humano en perfecto contacto con el suelo a través de los pies (eléctricamente aterrado) y los campos inducidos más débiles corresponden al cuerpo aislado del suelo (en “espacio libre”).
- El flujo total de corriente en un cuerpo en perfecto contacto con el suelo está determinado por el tamaño y la forma del cuerpo (incluida la postura) antes que la conductividad de los tejidos.
- La distribución de las corrientes inducidas a través de los diversos órganos y tejidos está determinada por la conductividad de dichos tejidos.
- La distribución de un campo eléctrico inducido también es afectada por la conductividad, pero menos que la corriente inducida.
- También hay un fenómeno independiente en el que la corriente se produce en el cuerpo por medio del contacto con un objeto conductor situado en un campo eléctrico.

Para los campos magnéticos, la permeabilidad de los tejidos es igual a la del aire, de manera que el campo en un tejido es igual al campo externo. Los campos magnéticos son difíciles de apantallar y penetran fácilmente en edificios y personas. Los cuerpos de las personas y de los animales no perturba significativamente el campo. La principal interacción de los campos magnéticos corresponde a la inducción de Faraday de campos eléctricos y las densidades de corriente asociadas en los tejidos conductores. Las características fundamentales de la dosimetría para la exposición de los seres humanos a campos magnéticos de ELF según el informe 238 de la OMS, son las siguientes:

- El campo eléctrico y la corriente inducidos dependen de la orientación del campo externo. Los campos inducidos en el cuerpo considerado en conjunto son máximos cuando el campo está alineado de la parte anterior a la posterior del organismo, pero en algunos órganos concretos los valores máximos corresponden al campo alineado de un costado al otro.
- Los campos eléctricos más débiles son inducidos por un campo magnético orientado a lo largo del eje vertical del cuerpo.
- Para una intensidad y una orientación determinadas del campo magnético, se inducen campos eléctricos más altos en los cuerpos de mayor tamaño.
- La distribución del campo eléctrico inducido es afectada por la conductividad de los diversos órganos y tejidos. Éstos tienen un efecto limitado en la distribución de la densidad de corriente inducida.

Como los campos eléctricos estáticos no penetran en el cuerpo, está asumido que cualquier efecto biológico por exposición habitual a campos estáticos tiene que ser debido al componente magnético del campo eléctrico.

<sup>38</sup> La dosimetría describe la relación entre los campos externos y el campo eléctrico y la densidad de corriente inducidos en el cuerpo, u otros parámetros asociados con la exposición a estos campos.

<sup>39</sup> Environmental Health Criteria N° 238, Extremely Low Frequency Fields, ISBN 978 92 4 157238 5

Además, en los sistemas biológicos existen estructuras magnéticamente influenciables como los radicales libres que presentan propiedades paramagnéticas.

La respuesta de un sistema biológico a un campo magnético externo depende tanto de las propiedades magnéticas intrínsecas del sistema como de las características del campo externo y de las propiedades del medio en el cual tiene lugar el fenómeno. Por otro lado, las radiaciones no ionizantes de frecuencia extremadamente baja como es el caso de **los campos magnéticos de 50 Hz afectan a una gran cantidad de procesos bioquímicos, entre los que se encuentran:**

- **síntesis de ácidos nucleicos (ADN y ARN), responsables de nuestra dotación genética y de la herencia, y de proteínas**
- **cambian la producción de hormonas**
- **modifican la respuesta inmune**
- **modifican el grado de crecimiento y diferenciación celular, condicionando la aparición de cáncer.**

**Desde el punto de vista físico, se supone que la interacción principal entre el campo electromagnético y el organismo ocurre en la membrana celular y más específicamente en los canales iónicos, siendo los del calcio los que participan más activamente en las alteraciones biológicas.**

### Campos electromagnéticos y radicales libres

Los radicales libres son átomos o grupos de átomos que tienen un electrón (e-) desapareado en capacidad de aparearse, por lo que son muy reactivos.

Estos radicales recorren nuestro organismo intentando robar un electrón de las moléculas estables, con el fin de alcanzar su estabilidad electroquímica.

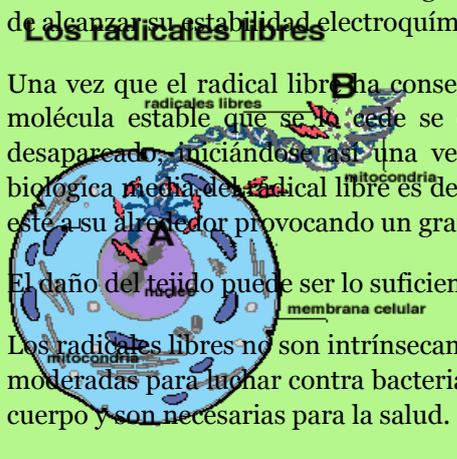
Una vez que el radical libre ha conseguido robar el electrón que necesita para aparear su electrón libre, la molécula estable que se le cede se convierte a su vez en un radical libre, por quedar con un electrón desapareado, iniciándose así una verdadera reacción en cadena que destruye nuestras células. La vida biológica media del radical libre es de microsegundos; pero tiene la capacidad de reaccionar con todo lo que esté a su alrededor provocando un gran cambio a las moléculas y a las membranas celulares.

El daño del tejido puede ser lo suficientemente serio como para conducir a la muerte celular.

Los radicales libres no son intrínsecamente malos. De hecho, nuestro propio cuerpo los fabrica en cantidades moderadas para luchar contra bacterias y virus, es decir que se dan constantemente en las células de nuestro cuerpo y son necesarias para la salud.

Pero, el proceso debe ser controlado con una adecuada protección antioxidante. Un antioxidante es una sustancia capaz de neutralizar la acción oxidante de los radicales libres, liberando electrones en nuestra sangre que son captados por los radicales libres convirtiéndose en moléculas inestables.

Los radicales libres producidos por el cuerpo para llevar a cabo determinadas funciones son neutralizados fácilmente por nuestro propio sistema. Los radicales libres se producen normalmente durante el metabolismo aeróbico celular, principalmente a nivel de la cadena respiratoria mitocondrial, fagocitosis, síntesis de prostaglandinas, y el sistema de la citocromo P450 en el hígado.



También con este fin, el cuerpo produce unas enzimas (como la catalasa o la dismutasa<sup>40</sup>) que son las encargadas de neutralizarlos. Estas enzimas tienen la capacidad de desarmar los radicales libres sin desestabilizar su propio estado

Los radicales libres también se pueden generar a partir de reacciones no enzimáticas como las reacciones del oxígeno con compuestos orgánicos, y las **producidas por las radiaciones** ionizantes y **no ionizantes**.

Nuestro organismo se defiende del ataque de los radicales libres mediante el Sistema Antioxidante Endógeno. Por ello existe en nuestro organismo un delicado equilibrio entre la producción de radicales libres, necesarios por parte de nuestro sistema inmune y la neutralización de radicales libres cuando se producen en exceso.

La mayoría de las veces la pérdida de este equilibrio en nuestro cuerpo provoca la presencia de cantidades exageradas de radicales libres, induciendo daño a las macromoléculas de la célula como acidosis nucleicos (ADN y ARN), proteínas y lípidos, que pueden conducir a mutagénesis y cáncer o a la muerte celular; en cualquier caso, aceleran el proceso de envejecimiento y posibilitan el desencadenamiento de enfermedades diversas<sup>41</sup>.

En los seres vivos, los radicales libres que se forman fisiológicamente están regulados por los sistemas de defensa antioxidante. Cuando la producción de radicales libres aumenta por encima de la capacidad defensiva de la célula, se crea un estado de estrés oxidativo que subyace a muchas patologías.

La polución ambiental, el tabaco, las comidas ricas en alimentos procesados, las situaciones de estrés físico y emocional provocan la producción de radicales libres en una cantidad mayor que la que el organismo puede neutralizar normalmente. Entonces, estos radicales libres dañan diferentes estructuras tales como el endotelio vascular (lesiones vasculares, enfermedad aterosclerótica), neuronas (enfermedades neurodegenerativas como Parkinson, Alzheimer, etc.).

Los sistemas biológicos de defensa antioxidante están formados por dos grupos de moléculas. Un grupo lo constituyen los sistemas de carácter enzimático, como la superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutatión peroxidada (GPx), glutatión reductasa (GRd), glutatión-s-transferasa (GST) y glucosa-6-fosfato-deshidrogenasa (G6PD).

El segundo grupo está formado por moléculas depuradoras de radicales libres, tales como las vitaminas C y E, el glutatión, y la melatonina. La mayoría de estos sistemas actúan tanto en el citosol como en la mitocondria, siendo este segundo lugar el más importante para prevenir el daño oxidativo y la muerte celular subsiguiente.

**Los efectos adversos de los campos electromagnéticos incluye el aumento de la producción de radicales libres**, tanto de oxígeno (ROS)<sup>42</sup> como de nitrógeno (RNS)<sup>43</sup> y **la disminución de las defensas antioxidantes**. Las personas expuestas a dichos campos muestran un aumento significativo de los niveles plasmáticos de SOD y de peróxido de hidrógeno, lo que concuerda con el aumento de SOD. Asimismo, la capacidad antioxidante total del plasma disminuye significativamente en el grupo de personas expuestas, mientras que aumenta de manera significativa la concentración sérica de malondialdehído tras la exposición, indicando un aumento de la oxidación de los lípidos de la membrana celular.

El daño a nivel subliminal está presente en patologías cardíacas, o en la inducción de cataratas después debido al daño de las proteínas del cristalino. En relación a la inducción del cáncer, los campos electromagnéticos no son ionizantes y por tanto pueden afectar a los procesos de proliferación celular a

<sup>40</sup> Joe M. McCord and Irwin Fridovich. November 25, 1969 The journal of Biological Chemistry, 244, 6049-6055

<sup>41</sup> Foster, K. "Electromagnetic Field Effects and Mechanisms". IEEE Transactions on Engineering in Medicine and Biology. July/August 1996

<sup>42</sup> En otra bibliografía pueden figurar por su traducción literal del inglés como "Especies reactivas de oxígeno"

<sup>43</sup> En otra bibliografía pueden figurar por su traducción literal del inglés como "Especies reactivas de nitrógeno"

través de la generación de radicales libres, los cuales pueden actuar a su vez sobre los procesos de transformación neoplásica de las células.

Por último, un reciente estudio indica que los campos electromagnéticos estabilizan los radicales libres de tal forma que aumentan su vida media y permiten una mayor dispersión. Ello aumenta la probabilidad de daño a las macromoléculas de la célula, incluyendo los ácidos nucleicos, proteínas y lípidos. La supresión de la proliferación celular inducida por un campo electromagnético en presencia de antioxidantes, avala esta vía de daño.

### Campos electromagnéticos y patología

**La función celular y orgánica está basada, regulada y coordinada por diferencias de gradientes o potenciales iónicos y moleculares bioquímicos y posteriormente electromagnéticas de baja frecuencia e intensidad.** Esta actividad inicialmente bioquímica y posteriormente electromagnética queda expresada gráficamente con los electroencefalogramas, electrocardiogramas, electromiogramas y más recientemente, electromagnetogramas.

Las ondas electromagnéticas generadas por las corrientes eléctricas y por las microondas (telefonía, telefonía móvil, radiofrecuencias, telefrecuencias, radares civiles y militares, etc.) interfieren y distorsionan el funcionamiento normal del organismo humano. Aunque en la bibliografía científica hay cierta controversia, se han publicado con suficiente rigor metodológico diversos efectos nocivos en las personas expuestas.

Los principales efectos perjudiciales de la exposición a campos electromagnéticos son los siguientes:

- **Trastornos neurológicos** como irritabilidad, cefalea, astenia, hipotonía, síndrome de hiperexcitabilidad, somnolencia, alteraciones sensoriales, temblores, mareos.
- **Trastornos mentales:** alteraciones del humor y del carácter, depresiones, tendencias suicidas.
- **Trastornos cardiopulmonares:** alteraciones de la frecuencia cardíaca, modificaciones de la tensión arterial y alteraciones vasculares periféricas.
- **Trastornos reproductivos:** alteraciones del ciclo menstrual, abortos, infertilidad y disminución de la libido sexual.
- **Incremento del riesgo de algunos tipos de cáncer**, como las leucemias agudas y los tumores del sistema nervioso central en la infancia.
- **Trastornos dermatológicos:** dermatitis inespecíficas y alergias cutáneas.
- **Trastornos hormonales:** alteraciones en el ritmo y niveles de melatonina, sustancias neurosecretoras y hormonas sexuales.
- **Trastornos inmunológicos:** Alteraciones del sistema de inmunovigilancia antiinfecciosa y antitumoral.

El riesgo potencial de estas complicaciones es mayor en los siguientes grupos poblacionales: época pediátrica, tercera edad, mujeres embarazadas y lactantes y especialmente, entre portadores de prótesis metálicas y marcapasos. Lo anteriormente dicho está corroborado a día de hoy por la EPA<sup>44</sup> estadounidense y por la IARC<sup>45</sup>.

Los continuos avances tecnológicos hacen que la incidencia de este tipo de contaminación vaya en aumento. A finales de los años setenta aparecen los primeros datos que indicaban una asociación entre campos electromagnéticos y cáncer, particularmente leucemia infantil.

Desde entonces, se han realizado gran cantidad de estudios epidemiológicos y de laboratorio, para establecer una relación entre la exposición a campos electromagnéticos y patología humana. La IARC, referencia mundial sobre investigación del cáncer señala que a partir de 0,4  $\mu\text{T}$  se duplica el riesgo de leucemia infantil

<sup>44</sup> Environmental Protection Agency

<sup>45</sup> International Agency for Research of Cancer

en la población afectada. Se ha observado un aumento de la tasa de mortalidad por leucemia en profesionales relacionados con el trabajo en campos electromagnéticos y en niños que habitan casas cercanas a tendidos de alta tensión. Países como Suecia han reconocido en su legislación la incidencia de los campos electromagnéticos generados por las líneas de alta tensión en la leucemia infantil. Otros estudios mostraron que la mayoría de los casos de muerte súbita de lactantes se produce en la cercanía de vías electrificadas, emisoras de radio, radar o líneas de alta tensión, es decir, zonas expuestas a fuertes campos electromagnéticos. Se encontró también un aumento de la frecuencia de malformaciones congénitas en niños cuyos padres trabajaban en fuentes generadoras de alta tensión, indicando un efecto genotóxico de los campos electromagnéticos.

Los cables eléctricos de 220 voltios y 50 Hz instalados en viviendas generan campos que elevan la presión parcial de oxígeno en la sangre, así como el hematocrito. Teniendo en cuenta que la actividad eléctrica cerebral del ser humano manifiesta una periodicidad que va de 14 a 50 Hz en el estado de conciencia de vigilia y entre 8 y 14 si se está relajado, se deduce que un campo externo de 50 Hz como el de la red eléctrica común puede inducir estados de nerviosismo (electroestrés). Además, esos campos pueden alterar el equilibrio de grasas y colesterol en la sangre, aumentar la producción de cortisol y elevar la presión arterial, lo que puede desembocar en trastornos cardíacos, renales, gastrointestinales, nerviosos y otros.

Otras alteraciones biológicas debidas a la acción de campos electromagnéticos artificiales intensos incluyen cambios en la temperatura corporal, alteración del balance electrolítico de la sangre, dolor muscular en las articulaciones, dificultad en la percepción de los colores, fatiga, inapetencia, disfunciones en el sistema nervioso central, estrés, disminución de la cantidad de plaquetas, etc. En definitiva, las radiaciones electromagnéticas de baja intensidad pueden tener una incidencia desfavorable en el desarrollo de cáncer, afectar las funciones reproductoras, provocar alergias y depresiones, lo que habla a favor de la existencia de una afectación del sistema neuroinmunoendocrino.

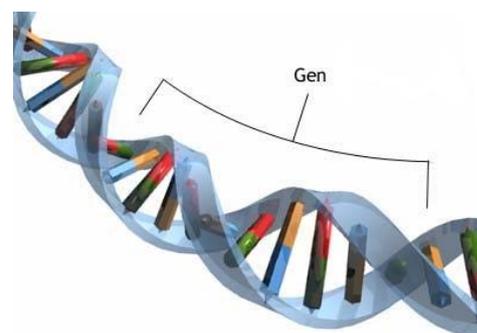
### Campos electromagnéticos y expresión de genes

Estudios experimentales indican que tras la exposición a CEM, se produce una activación de las células del sistema inmune, y aumento de producción de ROS<sup>42</sup> y RNS<sup>43</sup>. Se estudió la expresión de genes en monocitos (células del sistema inmune) derivados de la sangre de cordón umbilical humano tras la exposición a 1 mT.

Los resultados indican la alteración de la expresión en 986 genes. Existe una activación de la expresión de genes de IL2, IL10, FOS, mientras que se reduce la de HIOMT, el enzima de la síntesis de melatonina, entre muchos otros. Esos resultados, indican la puesta en marcha de una vía de activación celular de los monocitos, con una inhibición de la producción de melatonina.

Esos efectos ocurren por la misma vía que la activación de las células del sistema inmune producido por los lipopolisacáridos bacterianos, los responsables de la inducción de la sepsis y shock séptico humano, es decir, de una reacción inflamatoria sistémica muy grave. Además, la producción de ROS tras la exposición a dichos campos electromagnéticos fue de igual magnitud a la producida tras la administración de los lipopolisacáridos.

Por tanto, los campos electromagnéticos influyen directamente el genoma humano, disminuyen la melatonina y producen una reacción inflamatoria cuyos efectos pueden verse a medio o largo plazo.



Espiral de ADN

También se encontró en estudios hechos a ratones ratones transfectados con pCEM<sup>46</sup> y expuestos a CEM un aumento estadísticamente significativo en la expresión de luciferasa con respecto al grupo control no expuesto a CEM y al grupo que contenía el vector pNFkB-luc que en este caso se utilizó como control positivo. Además, se determinó mediante Western Blot la presencia de expresión de luciferasa en ratones expuestos a los campos magnéticos y se corroboró que los CEM son capaces de incrementar la expresión del gen al ser comparados con los controles antes mencionados. Por lo tanto se concluyó en que el vector pCEM responde a la aplicación de un campo electromagnético de 80  $\mu$ T de 60 Hz in vivo, incrementando la expresión del gen de luciferasa.

### Efectos cognitivos de los campos electromagnéticos

Una de las consideraciones importantes y que hasta ahora ha tenido poca trascendencia, es el efecto de los campos electromagnéticos sobre el cerebro y las consecuencias a nivel cognitivo y conductual. La evidencia sugiere que exposiciones breves pueden inducir cambios en la actividad eléctrica cerebral, sobre todo en la banda de la frecuencia alfa (8-13 Hz). Asimismo, otro efecto que se está estudiando ahora es la aparición de alteraciones después de la exposición a los campos electromagnéticos, y no sólo durante la exposición misma.

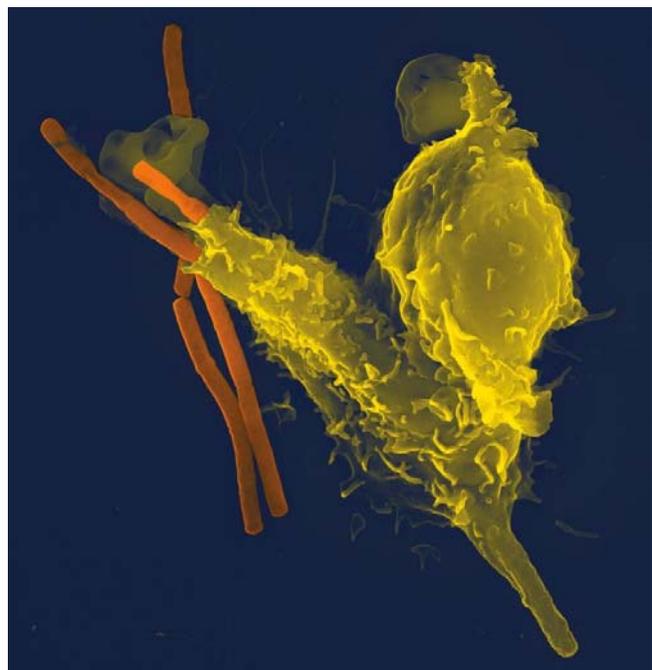
Varios estudios demuestran efectos significativos en la fisiología cerebral y las capacidades cognitivas tras la exposición a dichos campos. Entre ellos, existe un trabajo desarrollado por McKinlay<sup>47</sup>, donde se describe una disminución de la memoria de reconocimiento tras la exposición a 100  $\mu$ T durante 1 segundo, así como disminución de la actividad alfa en corteza occipital, tras exposiciones de 15 min a 80  $\mu$ T.

### Mecanismos endocrinos de los efectos de los campos electromagnéticos

#### El sistema inmune

Desde que nacemos nos encontramos continuamente expuestos a padecer infecciones y procesos cancerosos, frente a los cuales sucumbiríamos si no fuera porque disponemos de un complejo sistema fisiológico que nos defiende de los mismos, el sistema inmune.

El sistema inmunitario, sistema inmune o sistema inmunológico es un sistema de estructuras y procesos biológicos en el interior de nuestro organismo que nos protege no solamente de varios microorganismos invasores sino también las células de nuestro cuerpo que continuamente se malignizan por el ataque, entre otros, de los radicales libres. El sistema inmunitario detecta una amplia variedad de agentes, desde virus a gusanos parásitos, y necesita distinguirlos de las propias células y tejidos sanos del organismo para funcionar correctamente. La detección



Una imagen de microscopio electrónico de barrido de un solo neutrófilo (amarillo), engullendo la bacteria del carbunco (naranja).

<sup>46</sup> vector llamado pCEM (que contiene elementos de respuesta a CEM y expresa el gen de la luciferasa)

<sup>47</sup> McKinlay A F, Allen S G, Cox R, Dimbylow P J, Mann S M, Muirhead C R, Saunders R D, Sienkiewicz Z J, Stather J W, and Wainwright P R., 2004. Review of the Scientific Evidence for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (0-300 GHz). Docs NRPB, 15(3), Chilton, NRPB.

es complicada ya que los patógenos pueden evolucionar rápidamente, produciendo adaptaciones que evitan el sistema inmunitario y permiten a los patógenos infectar con éxito sus huéspedes.

Para superar este desafío, se desarrollaron múltiples mecanismos que reconocen y neutralizan patógenos. Incluso los sencillos organismos unicelulares como las bacterias poseen sistemas enzimáticos que los protegen contra infecciones virales. Otros mecanismos inmunológicos básicos se desarrollaron en antiguas eukaryotas y permanecen en sus descendientes modernos, como las plantas, los peces, los reptiles y los insectos. Entre estos mecanismos figuran péptidos antimicrobianos llamados defensinas, la fagocitosis y el sistema del complemento. Los vertebrados como los humanos tienen mecanismos de defensa aún más sofisticados.<sup>48</sup> Los sistemas inmunológicos de los vertebrados constan de muchos tipos de proteínas, células, órganos y tejidos, los cuales se relacionan en una red elaborada y dinámica. Como parte de esta respuesta inmunológica más compleja, el sistema inmunitario humano se adapta con el tiempo para reconocer patógenos específicos más eficientemente. A este proceso de adaptación se le llama “inmunidad adaptativa” o “inmunidad adquirida” y crea memoria inmunológica. La memoria inmunológica creada desde una respuesta primaria a un patógeno específico, proporciona una respuesta mejorada a encuentros secundarios con ese mismo patógeno específico. Este proceso de inmunidad adquirida es la base de la vacunación.

El conjunto de mecanismos que se ponen en marcha para llevar a cabo esa función se conoce como respuesta inmune, que consiste en una activación de las células de dicho sistema. Esta activación es un conjunto de procesos que se encuentran perfectamente regulados, ya que una activación inmunitaria descontrolada podría suponer, y de hecho lo hace, la muerte del individuo.

El sistema inmune se divide funcionalmente en innato o inespecífico y adquirido o específico. La respuesta inespecífica se desarrolla y actúa de forma indiscriminada e inmediata frente a cualquier agente extraño que ha conseguido pasar las barreras naturales de nuestro cuerpo, o frente a toda célula que se ha transformado en cancerosa. Esta respuesta se lleva a cabo por una serie de células como los fagocitos (neutrófilos, monocitos y macrófagos) que llevan a cabo una primera línea de defensa frente a lo extraño.

La acción de las células fagocíticas conlleva el aumento del consumo de oxígeno y la consecuente producción de radicales libres de oxígeno (ROS), el primero de los cuales es el anión superóxido. La respuesta específica es responsabilidad de los linfocitos, que, una vez que han reconocido lo extraño, una de sus funciones más representativas es la capacidad de proliferar para tener un número adecuado de células capaces de responder a lo extraño.

Con estas propiedades el sistema inmune ha resultado ser fundamental en el mantenimiento de la homeostasis corporal, siendo un claro sistema regulador, en igualdad de condiciones con los sistemas reguladores clásicos como el sistema nervioso y el endocrino.

## Campos electromagnéticos y melatonina

### *Funciones de la melatonina*

La melatonina o N-acetil-5-metoxitriptamina es una hormona encontrada en animales superiores y en algunas algas, en concentraciones que varían de acuerdo al ciclo diurno/nocturno. Se produce, principalmente, en la glándula pineal<sup>49</sup>, y participa en una gran variedad de procesos celulares, neuroendocrinos y neurofisiológicos. La melatonina es sintetizada por la glándula pineal a partir del neurotransmisor serotonina por las noches. Su producción va dirigida hacia contrarrestar el stress. Una de las características más sobresalientes respecto a la biosíntesis pineal de melatonina es su variabilidad a lo largo del ciclo de 24 horas, y su respuesta precisa a cambios en la iluminación ambiental. Por ello, la melatonina se considera una neurohormona con función pertinente en la fisiología circadiana. Muchos de sus

<sup>48</sup> Beck, Gregory; Gail S. Habicht (Noviembre de 1996). «Immunity and the Invertebrates» Scientific American. pp. 60–66.

<sup>49</sup> La glándula pineal está localizada en el centro del cerebro.

efectos biológicos se deben a su acción sobre receptores de melatonina y, otros más, a su potente acción como antioxidante, el cual juega un papel muy especial en la protección del ADN nuclear y mitocondrial.

Este ritmo circadiano de melatonina constituye una señal fundamental para la sincronización interna de una gran cantidad de ritmos endocrinos y no endocrinos, como el propio sueño/vigilia. Además, la melatonina es una parte vital del sistema antioxidante endógeno del organismo humano.

Los efectos principales de la melatonina podrían clasificarse en:

- a) antioxidante, por depurar ROS/RNS y aumentar la expresión de los genes que codifican para los enzimas antioxidantes;
- b) antiinflamatorio, por reprimir la expresión de los genes que codifican para la óxido nítrico sintasa inducible (iNOS) y la óxido nítrico sintasa mitocondrial inducible y reducir la producción de NO. Además, la melatonina estimula la producción de anticuerpos por el sistema inmune;
- c) estimulante de las defensas inmunológicas al aumentar la síntesis de anticuerpos, entre otras funciones.

A finales de los años setenta existía la hipótesis que la melatonina poseía importantes efectos oncostáticos, reduciendo la proliferación celular en el cáncer, y neuroprotectores, quizás en parte debidos a las acciones anteriores. La disminución de la producción de melatonina partir de los 35 años de edad, se ha interpretado como un proceso favorecedor del envejecimiento y de procesos asociados al mismo, como cáncer y neurodegeneración.

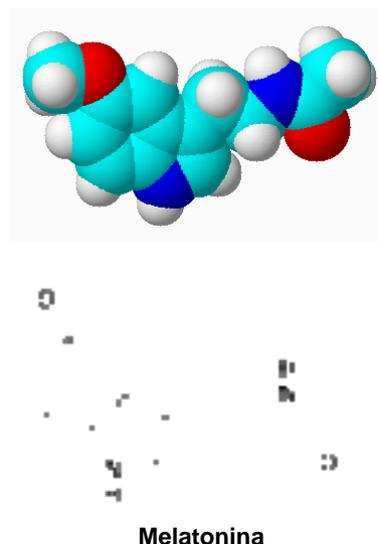
Sin embargo la hipótesis de que niveles bajos de melatonina estén asociados con aumento de cáncer, está también sin probar. Los ensayos clínicos siguen mostrando que, en general, no es efectiva usarla como agente anticancerígeno. Hay informes de niveles de melatonina más bajos en pacientes con cáncer, en especial de mama, pero no hay evidencias de un nexo causal

#### *Efecto de los campos electromagnéticos sobre la melatonina*

Estudios recientes han demostrado la capacidad que tiene la radiación electromagnética de disminuir los niveles circulantes de melatonina, tanto en animales como en el hombre. Los cables de alta tensión tienen una influencia decisiva en la disminución de la melatonina. Tras un mes de exposición, los niveles de melatonina se reducen en un 40%, aunque una vez eliminada la fuente de radiación, estos niveles vuelven a estabilizarse.

La disminución de la producción de melatonina tiene como consecuencia inmediata la alteración del ritmo circadiano de melatonina, que provoca depresión y fatiga, síntomas bien conocidos que se manifiestan en las personas expuestas a campos electromagnéticos. Los campos electromagnéticos artificiales tienen el mismo efecto en la glándula pineal que la luz, otro inhibidor de la producción de melatonina. Pero mientras que durante la noche, la ausencia de luz estimula la producción de melatonina, la exposición a campos electromagnéticos es continua durante las 24 horas, impidiendo de este modo el proceso de síntesis nocturna de melatonina.

En este sentido, se ha realizado un estudio muy interesante en humanos expuestos a 1  $\mu$ T alrededor de la cabeza y 10  $\mu$ T en el resto del cuerpo en su hábitat de trabajo habitual. La menor producción de melatonina se encontró en mujeres, y el descenso fue mayor en mujeres que trabajan por la noche, lo que indica que



existe una suma de efectos entre la exposición a la luz y a los campos electromagnéticos. De ese modo se explicaría la disminución de la capacidad del sistema inmunológico, así como la causa de muchos insomnios o cambios de comportamiento y humor, trastornos que son habituales en las personas expuestas a campos electromagnéticos.

En el laboratorio Battelle Pacific Northwest (USA), se demostró que campos eléctricos de 60 Hz y de cerca de 2 kV/m, reducían la cantidad de melatonina producida durante la noche, precisamente cuando estos niveles debían ser máximos.

Se ha comprobado que una dosis de 400 microwatios/cm<sup>2</sup>, inhibe la secreción de melatonina en los seres humanos.

Hay un dato muy importante a tener en cuenta. Los estudios con voluntarios sometidos a campos electromagnéticos de 20 µT durante 8 horas en un día, no han demostrado una disminución importante de los niveles de melatonina.

Otros autores, con exposiciones a 300 µT no encontraron evidencias de disrupción de la melatonina. El problema de esos estudios es que como control, se usan exposiciones de 0,2 µT, que puede ser el nivel al cual la exposición crónica inhibe la melatonina. En efecto, y esto es de gran importancia, la capacidad de inhibición de la melatonina por los campos electromagnéticos parece estar en torno a unos niveles relativamente bajos de éstos, por debajo de 0,2 µT. Este efecto paradójico es muy similar a lo que ocurre con la luz, ya que la pineal inhibe la producción de melatonina produce en el rango de 10 a 200 lux, mientras que exposiciones a 50.000 lux tienen poca influencia sobre la melatonina.

El descenso de melatonina elimina esta importante hormona antioxidante y antiinflamatoria. Debido a las acciones oncostáticas y estimulantes del sistema inmune, el descenso de melatonina hace que el organismo pierda estas capacidades de defensa. Por otra parte, hay que tener en cuenta que la melatonina regula también la función de ciertos órganos endocrinos: las gónadas, la hipófisis, el timo y el hipotálamo.

#### *Campos electromagnéticos, melatonina y sistema inmune.*

Los macrófagos y neutrófilos son células del sistema inmune responsables de la defensa del organismo. Los campos electromagnéticos aumentan la producción de ROS por estas células.

Una exposición de 0,5 mT durante 45 min es capaz de activar los macrófagos y monocitos humanos, elevándose la producción de ROS.

Los macrófagos juegan un papel esencial en el sistema inmune. Los macrófagos activados tienen una elevada capacidad de fagocitosis y producción elevada de ROS y RNS.

Estos radicales libres son útiles para luchar contra el invasor (bacterias) pero, cuando se producen tras la activación de dichas células sin presencia de infección, como en el caso de la exposición a campos electromagnéticos, van a producir un serio daño al organismo.

Debido a la elevada cantidad de melatonina en la médula ósea, la disminución de aquella por los campos electromagnéticos va a conducir a un aumento del estrés oxidativo en la médula ósea que afecta a la vez a las células madre.

Esos cambios aumentan el riesgo de cáncer como linfomas y leucemias, aunque también otros tipos de cáncer como el de mama.

#### *Campos electromagnéticos, melatonina y cáncer de mama.*

Los estrógenos que se producen en los ovarios son hormonas esteroides. Sus funciones son el desarrollo y mantenimiento de los caracteres sexuales femeninos, sobre todo en el útero, la glándula mamaria y la distribución de la grasa, pero también se han descrito otras funciones: alivian los síntomas de disconfor

durante la menopausia, son hormonas protectoras de la función cardiaca protegiendo contra el infarto y los accidentes cardiovasculares, y contra la osteoporosis y las enfermedades del SNC.

Los cambios en el sistema endocrino secundarios a la disfunción ovárica tienen por tanto mucha importancia y afectan a numerosas funciones del organismo de la mujer, incluidos el humor, la memoria, las facultades cognitivas, las funciones del sistema inmune, el aparato locomotor, y la función cardiovascular.

Los estrógenos se unen a receptores específicos en el núcleo de la célula, regulando la expresión génica en los respectivos órganos diana, principalmente tracto reproductor femenino, mama, hipófisis, hipotálamo, hueso, hígado, sistema cardiovascular, sistema nervioso central, piel, etc.

Dada la importancia de la melatonina en la regulación de las funciones endocrinas, podemos deducir que la reducción de los niveles de esta hormona podría ser una de las claves para comprender el aumento del riesgo de contraer cáncer en las personas sometidas a campos electromagnéticos de baja frecuencia.

Se ha propuesto que la supresión nocturna de melatonina podría explicar la asociación descrita epidemiológicamente entre exposición electromagnética ocupacional y residencial y el aumento de riesgo de cáncer. Las personas expuestas a radiación electromagnética pueden tener un riesgo aumentado de cáncer de mama, bien porque la inhibición de melatonina puede dar lugar a un aumento de la producción de prolactina y de estrógenos ováricos, o bien por una disminución del efecto directo inhibitorio de la melatonina sobre la proliferación celular en el cáncer de mama.

En este sentido, diversos estudios indican que si la melatonina se inhibe, se elevan los estrógenos (puesto que la melatonina frena su producción), aumentando el riesgo de cáncer de mama. En efecto, la acción de los estrógenos para acelerar el crecimiento de células de glándula mamaria, es suprimida por la melatonina a concentraciones tan bajas como 1 nM.

Sin embargo, la acción antitumoral de la melatonina disminuye drásticamente por la acción de un campo electromagnético de entre 0,2-1,2  $\mu$ T con una acción máxima a 1,2  $\mu$ T.

La misma intensidad de campo electromagnético inhibe la acción antiproliferativa del Tamoxifeno, un fármaco antiestrogénico usado en el tratamiento del cáncer de mama. Además, el descenso de melatonina por los campos electromagnéticos puede hacer que se liberen células cancerígenas que estaban en estado quiescente.

En este sentido se ha demostrado que los campos electromagnéticos boquean el efecto inhibitorio de la melatonina sobre el crecimiento de células cancerosas.

En 1970 aparece la primera relación entre cáncer y exposición a campos electromagnéticos. Existe una relación positiva entre leucemia, linfoma y tumores del SNC<sup>50</sup>, y exposición a campos electromagnéticos.

En un estudio caso control, se encontró una relación directa de leucemia infantil asociada a campos electromagnéticos desde 0,2  $\mu$ T. En adultos, varios estudios han indicado un aumento de riesgo de leucemia entre trabajadores en centrales eléctricas de al menos 6 veces más.

Otros estudios rebajan ligeramente ese aumento de riesgo a un factor de 3. Este último estudio, realizado en 4.000 casos de cáncer entre trabajadores de centrales eléctricas de Canadá y Francia, es muy indicativo. Actualmente, se ha documentado la existencia de al menos el doble de riesgo asociado a exposición a campos electromagnéticos por encima de 0,3-0,4  $\mu$ T, habiéndose clasificado dichas exposiciones como carcinógenas por el IARC. Además, existe mucha información epidemiológica que sugiere un aumento de riesgo de ciertos tipos de cáncer y patologías no cancerígenas asociadas a la exposición a campos electromagnéticos. Entre ellas, esclerosis lateral amiotrófica, cáncer de cerebro y leucemia.

<sup>50</sup> Sistema Nervioso Central

Otros estudios han avalado a gran escala la aparición de casos de leucemia en Estados Unidos, Canadá y Reino Unido asociados a la exposición de campos magnéticos. Un estudio sobre 45 fallecimientos de niños, 18 de ellos de muerte súbita, demostró que los niveles de melatonina eran mucho más bajos en los bebés fallecidos súbitamente que en los demás. El nivel hormonal en el cerebro era de 15 pg/ml, frente a los 51 en el grupo de control; y el nivel hormonal en la sangre era de 11 pg/ml de media en los 18 casos de muerte súbita, por 35 pg/ml en el otro grupo.

De gran trascendencia es la evaluación de los campos electromagnéticos en niños. El feto, que no produce melatonina, la recibe a través de la placenta de su madre, la cual produce más melatonina a lo largo de la gestación. El recién nacido no produce melatonina en cantidades significativas hasta los 6 meses de edad. Por todo ello, el feto y los niños menores de 6 meses son especialmente sensibles a los campos electromagnéticos. Indudablemente, en estos casos la falta de melatonina aumenta el riesgo de patologías asociadas a la misma: mutaciones debidas al daño al ADN y cáncer, aceleración del crecimiento de tumores, etc. De hecho, la incidencia de leucemia infantil ha aumentado rápidamente en las últimas décadas en los países más industrializados. Aunque las causas de esta enfermedad son desconocidas en gran medida, el aumento de la exposición a los campos electromagnéticos en dichos países y la disrupción de la melatonina, pueden jugar un papel decisivo.

## Marco Normativo e institucional

---

### Marco Normativo a Nivel Internacional

Como vamos a ver, en el mundo existe una preocupación y se empiezan a vislumbrar algunas medidas, aunque sea, invocando un principio precautorio de la salud.

#### Principio precautorio a nivel mundial.

El principio de la precaución afirma que es un imperativo ético el prevenir daños tales como los problemas del desarrollo si está en nuestras manos hacerlo. El principio es de origen alemán. "Precaución" es una traducción basta de una palabra que significa literalmente "prevenir todo lo necesario para algo", encargarse de un futuro difícil. Como ha sido codificado en varios tratados, incluyendo el Protocolo de Bioseguridad y el Tratado sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes, el principio de la precaución siempre contiene 3 elementos: la incertidumbre científica, la posibilidad de daños y la acción preventiva.

#### Comité Europeo de Normas Electrotécnicas (CENELEC).

Quizás este no sea el Comité que más imparcialmente efectúe sus recomendaciones, ya que como en su nombre lo indica, es un organismo de la Industria Electrotécnica, y por lo tanto una parte interesada. Sin embargo (como nuestra Asociación Electrotécnica Argentina, AEA) realiza recomendaciones y estipula algunas normas al respecto.

Al tratarse de un riesgo potencial que ha provocado una gran controversia y preocupación internacional, el CENELEC publicó en 1.995 dos normas con carácter experimental, la UNE ENV 50166-1 "Exposición humana a CEM de baja frecuencia (0 Hz a 10 kHz) y la 50166-2 "Exposición humana a CEM de Alta frecuencia (10 kHz a 300 GHz).

El 12 de julio de 1999 se aprobó la recomendación del Consejo Europeo sobre la limitación de la exposición del público general a campos electromagnéticos (0 Hz a 300 GHz) (1999/519/EC). Sus límites coinciden con los establecidos en la de ICNIRP<sup>51</sup> en las bandas en que coinciden ambas; valores que también coinciden con el CENELEC.

#### IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)

Es el Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos, con base en EEUU, pero con representación en todo el mundo, quien ha producido algunos trabajos sobre el tema<sup>52</sup>. Además ha realizado normas como por ejemplo la norma C95.6 – 2002.IEEE Standard for safety levels with respect to human exposure to electromagnetic fields, 0 – 3 KHz.

### Marco Normativo a Nivel Nacional

Nuestra Constitución Nacional hace mención de manera expresa en el Art. 41, a la protección del Medio Ambiente como hábitat para el desarrollo sustentable, privilegiando la vida humana por sobre toda actividad productiva. El mismo dicta que: "Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

<sup>51</sup> International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

<sup>52</sup> MOULDER, J. "Biological Studies of Power-Frequency Fields and Carcinogenesis". IEEE Transactions on Engineering in Medicine and Biology. July/August 1996.

Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica, y a la información y educación ambientales.

Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección, y a las provincias, las necesarias para complementirlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales.

Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.”

### Principio precautorio

Por otro lado, la Ley Nacional 256756 “Ley General del Ambiente”, en su Art. 4º, establece una serie de principios para la interpretación y aplicación de la misma, y de toda otra norma a través de la cual se ejecute la política Ambiental. Entre los cuáles se encuentra el Principio precautorio: “Cuando haya peligro de daño grave o irreversible la ausencia de información o certeza científica no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces, en función de los costos, para impedir la degradación del medio ambiente.”

El principio de la precaución o precautorio, tiene su origen en el artículo 43 de nuestra constitución “Toda persona puede interponer acción expedita y rápida de amparo, siempre que no exista otro medio judicial más idóneo, contra todo acto u omisión de autoridades públicas o de particulares, que en forma actual o inminente lesione, restrinja, altere o amenace, con arbitrariedad o ilegalidad manifiesta, derechos y garantías reconocidos por esta Constitución, un tratado o una ley. En el caso, el juez podrá declarar la inconstitucionalidad de la norma en que se funde el acto u omisión lesiva.

Podrán interponer esta acción contra cualquier forma de discriminación y en lo relativo a los derechos que protegen al ambiente, a la competencia, al usuario y al consumidor, así como a los derechos de incidencia colectiva en general, el afectado, el defensor del pueblo y las asociaciones que propendan a esos fines, registradas conforme a la ley, la que determinará los requisitos y formas de su organización.”

Y fundamentalmente establece que si está en nuestras manos, tenemos el imperativo ético de prevenir en lugar de sólo tratar las enfermedades, incluso ante la incertidumbre científica.

La incertidumbre es natural en el ámbito científico. Treinta años después de haber probado la Epidemiología que el amianto es un potente agente cancerígeno, hoy no se sabe el mecanismo a través del cual la inhalación de fibra de amianto produce cáncer de pulmón.

Si las autoridades sanitarias hubieran tenido que esperar hasta tener un conocimiento completo de los mecanismos carcinogénicos de este agente, no habría ninguna legislación sobre la exposición a estas sustancias, no existirían las advertencias sobre los peligros del tabaco y se seguiría utilizando el DDT como pesticida

### Concepto de Servidumbre

En nuestro país, existe además una acción legal que se denomina “servidumbre” de electroducto, que cuando se aplica a un terreno, se restringe el dominio del propietario sobre la zona afectada, de acuerdo con condiciones impuestas por esta entidad, de acuerdo a lo ordenado por la Especificación Técnica T80 de AyEE<sup>53</sup>. Esta restricción tiene por objeto simplificar las posibles tareas de mantenimiento del electroducto, no limitando esta restricción para la explotación agrícola-ganadera.

En nuestro país, y como medida precautoria, se hicieron las primeras constituciones de servidumbre en forma legal, que se inscribieran en el dominio del inmueble, se pudieron materializar a través de una ley de

<sup>53</sup> Sigla con que se conoce a la empresa Agua y Energía Eléctrica Sociedad del Estado, creada por decreto 3.967 del 14 de febrero de 1947 y privatizada en 1992 en la primera presidencia de Carlos Menem.

servidumbres que data del año 1972<sup>54</sup>. Las restricciones que esta ley propone es la prohibición de construir viviendas o instalaciones fijas dentro de una franja determinada de metros a cada lado del eje de la línea eléctrica.

### Leyes Nacionales

En primer lugar tenemos la ley 19.552, "Régimen de Servidumbre Administrativa de Electro ducto", sancionada en el año 1972.

En segundo y como complemento de la anterior, la ley 24.065 sancionada en diciembre de 1991 le confiere el gozo de esta servidumbre a los transportistas y distribuidores, en su artículo 18.

### Reglamentos Técnicos.

La Especificación Técnica T80 de AyEE, es el primer antecedente que podemos registrar en Argentina. Habla de distancias a respetar entre una vivienda y un tendido eléctrico.

La Reglamentación para la Ejecución de las líneas Aéreas Exteriores de Media y Alta Tensión, de la Asociación Electrotécnica Argentina, en su versión 2003, que es la que actualmente utiliza como referencia el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE).

### Secretaría de Energía.

En su Resolución SE 0077/1998, publicada en el Boletín Oficial n° 28.859, miércoles 18 de marzo de 1998, da valores a respetar en el diseño de una línea eléctrica, basados en datos de ese momento por la Organización Mundial de la Salud (OMS), La Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) y el Programa Ambiental de Naciones Unidas.

### Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE)

Este es quien debe aplicar los reglamentos antedichos.

Creado en el artículo 54 de la ley 24.065, dependiente de la Secretaría de Energía y es quien debe velar por los procedimientos técnicos, control de toda la actividad en el Mercado Eléctrico, generar o aprobar reglamentación e imponer sanciones. Además tiene que velar por la protección de la propiedad, el medio ambiente y la seguridad pública en la construcción y operación de los sistemas de generación, transporte y distribución de electricidad, incluyendo el derecho de acceso a las instalaciones de propiedad de generadores, transportistas, distribuidores y usuarios, previa notificación, a efectos de investigar cualquier amenaza real o potencial a la seguridad y conveniencia públicas en la medida que no obste la aplicación de normas específicas.

### Normas IRAM

El IRAM, Instituto Argentino de Normalización y Certificación, (nexo de continuidad con "IRAM, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales"), es una asociación civil sin fines de lucro, constituida como tal en 1935. La finalidad específica de este instituto, era estudiar y aprobar normas, sin limitaciones en los ámbitos que abarquen.

A través del Decreto del Poder Ejecutivo Nacional N° 1474/94 se creó el Sistema Nacional de Normas Calidad y Certificación, regulando así las actividades de normalización y de evaluación de la conformidad dentro del ámbito estrictamente voluntario. Este Sistema está estructurado a partir de un Consejo Nacional de Normas, Calidad y Certificación, integrado por representantes de las diversas áreas del gobierno nacional convocados por la autoridad de aplicación de este Decreto, la Secretaría de Industria, Comercio y Minería de la Nación (SICyM). Este organismo cuenta con la asistencia de un Comité Asesor del que participan los representantes de todos los sectores no gubernamentales involucrados.

54 A partir del Decreto 1759/1972 y la Ley 19.552

Referente al tema de nuestro trabajo, podemos nombrar

IRAM-IEC CISPR 14-2: Trata la compatibilidad electromagnética. Requisitos para aparatos electrodomésticos, herramientas eléctricas y aparatos análogos. Parte 2 - Inmunidad. Norma de familia de productos. Actualmente en estudio y aún publicada.

Norma IRAM 2491. Trata sobre Compatibilidad Electromagnética. Destacamos a la Parte 2: Entorno (Medio Ambiente). Sección 1: Descripción del entorno. Entorno electromagnético para las perturbaciones conducidas en baja frecuencia y transmisión de señales en las redes públicas de alimentación. Sección 5: Clasificación de los entornos electromagnéticos.

## Recomendaciones de Organismos Internacionales

Las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud y la International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) se basan, a la hora de limitar la exposición, en los efectos inmediatos y a corto plazo sobre la salud, tales como estimulación nerviosa y muscular, absorción de energía, descarga eléctrica y quemaduras producidas por el contacto con objetos conductores.

Con respecto a los posibles efectos a largo plazo, tales como un incremento en el riesgo de cáncer, la posición adoptada por los organismos que han formulado las distintas normas y recomendaciones es que, aunque la investigación epidemiológica ha proporcionado alguna indicación de posibles efectos carcinogénicos, los datos disponibles no son suficientes para servir como base sobre la que establecer límites de exposición

### International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

La traducción más literal de su nombre es Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante. La misma es una organización científica independiente, reconocida formalmente como una organización no gubernamental que trabaja sobre aspectos relacionados con las emisiones radioeléctricas y se encuentra reconocida por la Organización Mundial de la Salud y la Organización Internacional del Trabajo.

Participa plenamente en el Proyecto internacional CEM<sup>55</sup>. Esta organización reexaminará sus directrices una vez que el Proyecto CEM haya realizado nuevas evaluaciones de los riesgos para la salud. Publica un resumen de todas las presentaciones y se encuentran disponibles en el sitio web de la ICNIRP ([www.icnirp.org](http://www.icnirp.org)).

De acuerdo a un trabajo realizado en 1990 junto a la International Radiation Protection Association (IRPA), en los campos eléctricos de 10 a 30 kV/m, la intensidad del campo, no debería exceder los 80 kV/m x hora por jornada laboral completa. El cuerpo expuesto a campos magnéticos por hasta 2 horas por día no tendría que exceder los 50 Gauss.

### Recomendaciones de la ICNIRP.

A la frecuencia de 50-60 Hz, dichos efectos están relacionados con la densidad de corriente inducida en el organismo y se observan a partir de 10 mA/m<sup>2</sup>. Puesto que esta magnitud no es directamente medible, los límites para el campo eléctrico y magnético externo se calculan a partir de modelos y cálculos aproximados de la corriente inducida en el cuerpo humano por campos externos, por lo que los valores recomendados varían ligeramente dependiendo del modelo y del factor de seguridad utilizados.

Los límites recomendados por el ICNIRP para la exposición continua del público a campos de 50 Hz son de 100  $\mu$ T para la inducción magnética y 5 kV/m para la intensidad de campo eléctrico. En el caso de exposición laboral, dichos límites son 500  $\mu$ T y 10 kV/m, respectivamente. Estos límites han sido adoptados en la Propuesta de Recomendación del Consejo de las Comunidades Europeas COM (1998) 268.

<sup>55</sup> El Proyecto Internacional CEM (CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS) fue creado en el año 1996, y tiene previsto evaluar las pruebas científicas de los posibles efectos sobre la salud de los CEM en el intervalo de frecuencia de 0 a 300 GHz. Tenía fecha de terminación en el año 2007 ya que se preveía que las investigaciones en curso y propuestas proporcionarían en este plazo resultados suficientes para evaluar los riesgos para la salud de forma más categórica.

ICNIRP concluye que no existe evidencia convincente a partir de estudios de laboratorio de los efectos cancerígenos de estos campos, y, aunque reconoce la existencia de una asociación estadística entre un mayor riesgo de cáncer en humanos y la exposición a campos electromagnéticos de frecuencia industrial para valores inferiores a los recomendados como niveles de referencia, indica que en ausencia de una base de estudios de laboratorio, los datos epidemiológicos son escasos para permitir que, basados en ellos, se establezcan recomendaciones para limitar esa exposición.

### Organización Mundial de la Salud (OMS).

La OMS es la autoridad directiva y coordinadora de la acción sanitaria en el sistema de las Naciones Unidas. Es la responsable de desempeñar una función de liderazgo en los asuntos sanitarios mundiales, configurar la agenda de las investigaciones en salud, establecer normas, articular opciones de política basadas en la evidencia, prestar apoyo técnico a los países y vigilar las tendencias sanitarias mundiales.

En referencia al tema de este trabajo, la OMS publicó un Marco que puede ser usado como guía, si un Estado desea desarrollar sus propios estándares respecto a el establecimiento de límites de exposición y otras medidas de control que provean el mismo o similar nivel de protección de la salud para todas las personas.

Los factores que han motivado a la Organización Mundial de la Salud (OMS) a establecer este Marco para desarrollar estándares de exposición de CEM basados en la salud empleando un proceso racional conducido científicamente fueron las grandes diferencias entre los límites nacionales y las recomendaciones internacionales que pueden fomentar confusión entre los reguladores y responsables de la formulación de políticas e incrementar la ansiedad del público.

La OMS respalda las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) y alienta a los Estados Miembros a adoptar estas recomendaciones internacionales.

### Recomendación de la Organización Mundial de la Salud

Por el momento, y desde el punto de vista epidemiológico se comprueba que existe un impase en el diseño de estudios de los campos magnéticos de ELF y leucemia infantil. Mientras que los estudios epidemiológicos existentes demuestran una asociación constante, la mayoría de los estudios disponibles son del tipo caso-control y potencialmente están sujetos sesgo de selección.

En la nota informativa N° 205, la OMS señala lo siguiente: "*en la práctica, la única manera en que los CEM pueden interactuar con los tejidos vivos es induciendo en ellos campos y corrientes eléctricas. Sin embargo, a los niveles que son habituales en nuestro medio ambiente, la magnitud de estas corrientes es inferior a la de las corrientes que produce espontáneamente nuestro organismo*".

También indica: "*No existen pruebas convincentes de que la exposición a los campos ELF causen directamente daños en las moléculas de los seres vivos, y en particular en su ADN. Es, pues, improbable que pueda desencadenar un proceso de carcinogénesis. Sin embargo, se están realizando estudios para determinar si la exposición a esos campos puede influir en la estimulación o coestimulación del cáncer. Recientes estudios realizados en animales no han demostrado que la exposición a campos ELF influya en la incidencia de cáncer*".

Para tratar de dar respuesta a las cuestiones sanitarias que plantea la exposición a los CEM, la Organización Mundial de la Salud ha organizado el "Proyecto Internacional CEM". Ha realizado exámenes científicos y se ha identificado los aspectos insuficientemente conocidos, con base en lo cual ha confeccionado un calendario de investigaciones para los próximos años que permitirá evaluar más a fondo los riesgos para la salud. El Proyecto se inició en 1996 y debía concluir en el año 2007. Luego lo extendieron en el tiempo y debería concluir en el año 2012. Puede obtenerse información adicional en <http://www.who.int/peh-emf/es/index.html>.

Con respecto a normativas, en la misma nota informativa (No. 205), la OMS señala que "*la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP) ha publicado directrices sobre*

*posibles límites de exposición para todos los tipos de CEM" y considera que " estas directrices ofrecen una protección adecuada respecto de los efectos sanitarios ya conocidos".*

### The International Agency for Research on Cancer (IARC)

La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) celebró una reunión en junio de 2001 para evaluar la evidencia científica sobre la exposición de humanos a campos eléctricos y magnéticos de frecuencias extremadamente bajas y su probabilidad de causar cáncer.

Como resultado de la reunión, se informó en un comunicado de prensa de la IARC, que los campos magnéticos ELF fueron clasificados en el grupo 2B, es decir, como posible carcinógeno para los seres humanos.

La clasificación se basa en la evidencia limitada, pero constante, de una asociación epidemiológica entre la exposición residencial de campo magnético y la leucemia infantil. No se encontró evidencia consistente con tumores de la niñez, así como de cualquier tipo de cáncer de adultos, ya para los profesionales que trabajan en Alta Tensión como para la exposición residencial.

Debido a la insuficiencia de datos, los campos eléctricos ELF no podían ser clasificados en cuanto a su carcinogenicidad en seres humanos. La evaluación de la IARC se basó en una revisión exhaustiva de la literatura pertinente. Dos análisis recientes de los datos originales de varios estudios epidemiológicos han desempeñado un papel crucial en la clasificación. ICNIRP revisó la literatura científica sobre los efectos en la salud de los campos de ELF, con especial atención a los estudios epidemiológicos, como un paso en el desarrollo de sus directrices publicadas en 1998.

Por último se concluyó que en ausencia de apoyo de estudios de laboratorio, los datos epidemiológicos son insuficientes para permitir una pauta sobre la exposición que se establezca. Como la clasificación de la ICNIRP no entra en conflicto con la clasificación de la IARC. y aunque la posibilidad de que los campos magnéticos ELF son carcinogénicos se ha visto fortalecida desde 1998, no se justifica realizar cambios en las directrices actuales.

## Propuesta/Conclusión.

En este trabajo se hizo una reseña de los resultados de las investigaciones realizadas sobre los efectos posibles de los campos electromagnéticos sobre la salud, enfocándonos en aquellos de extremadamente baja frecuencia. No debe esperarse, sin embargo, encontrar respuestas concluyentes a todas las preguntas. Más bien, es necesario continuar con las investigaciones, pues los datos acumulados hasta ahora no permiten negar ni afirmar categóricamente que los campos eléctricos y magnéticos tienen efectos nocivos sobre la salud humana.

Es que de la lectura de los documentos publicados en internet, debe tenerse presente que científicamente no es posible probar la inocuidad para la salud humana de ningún agente, sino que solamente mediante estudios epidemiológicos se puede eventualmente encontrar, o no, asociación estadística significativa entre algunos agentes y algunas patologías, y mediante estudios de laboratorio, determinar, si es posible, la relación causa-efecto entre un determinado agente (a cierto nivel de dosis), y una determinada patología.

Aunque nadie pone en duda los enormes beneficios que la energía eléctrica aporta a la vida cotidiana y a los servicios sanitarios, en los últimos veinte años ha aumentado la preocupación del público ante la posibilidad de que la exposición a campos eléctricos y magnéticos de frecuencias extremadamente bajas (CEM ELF) tengan algún efecto nocivo para la salud.

La información científica y técnica más significativa, actualmente disponible, no proporciona evidencias de que la exposición a CEM ELF, suponga un riesgo para la salud de las personas. Los estudios epidemiológicos y experimentales no demuestran que estos campos produzcan cáncer, efectos sobre la reproducción y el desarrollo o alteraciones mentales y del comportamiento.

Pero sigue siendo una incógnita si la exposición permanente y continua a campos débiles es o no perjudicial para las personas, pues no hay suficiente evidencia que así lo confirme. Por lo pronto los estudios de laboratorio en animales y cultivos de células muestran que campos débiles pueden tener efectos sobre diferentes procesos biológicos, por ejemplo, pueden alterar las hormonas, los niveles de enzimas y el ritmo del movimiento de algunos químicos en los tejidos vivos, como ya hemos visto.

Como podemos constatar, existen trabajos que asocian estadísticamente la exposición crónica a campos magnéticos y algunos cánceres, mientras que otros no encuentran esa clara asociación. Una explicación plausible viene dada por Green y colaboradores en un artículo publicado en la revista *Cancer Causes and Control* en 1999<sup>56</sup> donde se evidencia que una causa de la disparidad encontrada, puede relacionarse con los aspectos metodológicos. Así se observa que cuando se realizan registros continuos con un dispositivo capaz de medir la magnitud del campo magnético colocado permanentemente en el niño los resultados evidencian una mayor asociación entre exposición a campos magnéticos y leucemia que cuando se efectúan medidas puntuales. Y además la evidencia es más constatable para campos magnéticos superiores a 0.3  $\mu\text{T}$ .

De aquí que se podría deducir que si los trabajos anteriores hubieran utilizado este dispositivo de medida la asociación hubiera sido probablemente más evidente.

Sin embargo, y como lo afirma Moulder<sup>57</sup>: *"la controversia pública sobre los CEM y la salud continuará hasta que las investigaciones futuras demuestren concluyentemente que los campos no son peligrosos o hasta que el público asuma que la ciencia no puede garantizar la seguridad absoluta o hasta que el público y los medios de comunicación se aburran del tema. Ninguna de las dos primeras es especialmente probable, pero la tercera puede ya estar sucediendo"*.

<sup>56</sup> *Cancer Causes and Control* 10: 233-243, 1999

<sup>57</sup> Moulder, J.E. Electromagnetic fields and human health-FAQ. (<http://www.mcw.edu/gcre/cop/powerlines-cancer-FAQ/toc.html>)

Tras haber leído y contrastado información e investigaciones ya realizadas acerca de las radiaciones, hemos llegado a la conclusión de que los campos electromagnéticos, dependiendo de su magnitud, inciden sobre los organismos expuestos, en mayor o menor medida. No obstante, tras tantos años de estudios específicos, todavía se reconoce que no está demostrado que este tipo de radiaciones, sean perjudiciales, ni mucho menos peligrosas para el ser humano. No por lo menos de forma clara y con rigor científico.

Alguna bibliografía intenta minimizar esto explicando que sin dudas, el cuerpo humano se habituó después de mucho tiempo a los campos magnéticos: el de la Tierra es en promedio 50  $\mu\text{T}$ , y es varias veces más elevado que el de los aparatos electrodomésticos, y sobre todo el de las líneas de alta tensión que apenas si alcanza a 1  $\mu\text{T}$ . Sin embargo este campo es estacionario, mientras que los otros mencionados tienen una frecuencia de variación de hasta 300 Hz (ciclos/seg).

Hay que recordar que las fuerzas magnéticas son producidas por el movimiento de partículas cargadas, como por ejemplo los electrones, lo que indica la estrecha relación entre la electricidad y el magnetismo. Ahora bien, después de miles de estudios publicados y miles de millones de dólares invertidos, no hay pruebas científicas concluyentes que permitan dilucidar si los campos electromagnéticos, tanto estáticos como variables, que producen las líneas de alta tensión, cables subterráneos, electrodomésticos o los teléfonos móviles, tienen efectos perjudiciales para la salud humana. De hecho, el hombre y el resto de los seres vivos soportan desde siempre el influjo de los invisibles campos electromagnéticos: los campos eléctricos son producidos por la acumulación de cargas eléctricas en la atmósfera asociadas con tormentas, y el campo magnético generado por el núcleo terrestre que nos permite orientarnos con la ayuda de la brújula. Es más, la actividad eléctrica de nuestro cerebro genera campos magnéticos que pueden ser detectados y utilizados en el diagnóstico de trastornos neurológicos

A pesar que los estudios no son concluyentes, los organismos internacionales de salud recomiendan evitar la exposición a los campos magnéticos, en especial aquellos causados por las líneas de alta tensión, subestaciones, transformadores aéreos y líneas de transmisión y de distribución eléctricas, por la gran potencia puesta en juego (la potencia es proporcional a la corriente y por ende a los CEM). En nuestro país, donde generalmente las líneas de transmisión y de distribución ya están instaladas al aire libre (en vía pública) y en muchos casos cercanas a viviendas, podrían estar constituyendo un problema para la salud, que el gobierno tiene la obligación de corregir y los ciudadanos tenemos el derecho de exigir que se controle. Por último, si existe una duda sobre la posibilidad de que los campos electromagnéticos provoquen daños en la salud humana, es mejor abstenerse de la exposición y no arriesgarse.

Como aporte a lo escrito hasta ahora y a la luz de lo explicado y teniendo en cuenta que si existiera un evidente riesgo que para la salud humana por parte de las Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión (art. 43 de la CN), se puede reformular la normativa actual argentina, vigente desde 1972, si esta no fuera suficiente para proteger la salud de las personas expuestas en zonas residenciales surcadas por LAMT, ya que cuando se determinaron los anchos de servidumbre, en muchos casos en zonas no urbanizadas, no se tenía consciencia de los posibles efectos de los CEM ELF. Otra reformulación podría ser, aumentar la profundidad de los tendidos subterráneos, con el objetivo de disminuir la magnitud del CEM a valores inferiores al umbral permitido.

También, los municipios deben proyectar el planeamiento urbano, evitando los asentamientos dentro de las franjas de servidumbre de los electroductos.

Las empresas eléctricas, para mitigar el impacto ambiental, por seguridad operativa y principalmente para tener acceso para el mantenimiento, ya tienen adquiridas una franja de servidumbre a ambos lados de la línea eléctrica debajo de la cual no se deben construir viviendas o instalaciones fijas.

Es de reformular entonces la normativa, siguiendo recomendaciones relativas a la exposición del público en general a campos electromagnéticos, obligando a los agentes involucrados a tomar medidas para reducir los efectos de la radiación electromagnética de las instalaciones.

Es decir, analizar si esta actual franja de servidumbre, donde además de garantizar un mantenimiento adecuado a la línea, es lo suficientemente generosa para asegurar que la intensidad de campos eléctricos y magnéticos asociados a la línea en cuestión, se reduce tan drásticamente que no debería afectar a ningún ser humano.

En la entrada del siglo XXI, el bioelectromagnetismo no ha hecho nada más que empezar ¿Qué nos depara esta nueva ciencia en el futuro que ya es presente? Acompañarán al hombre en su camino por la vida las aplicaciones en medicina de esta nueva ciencia de extraordinario valor, tanto en el diagnóstico (ejem.: magnetoencefalografía) como en la terapéutica no invasiva (ejem.: estimulación electromagnética transcraneal).

Por otra parte, la vigilancia (medida y control) en salud pública de la contaminación electromagnética es fundamental, puesto que ya el científico Jorge Lakhovsky, en su libro "*El secreto de la vida*" (1929), lo predijo: "*La vida ha nacido de la radiación, subsiste por la radiación y se suprime por cualquier desequilibrio oscilatorio*".

## Bibliografía.

---

### Internet. Páginas visitadas

Wikipedia:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Célula>

National Cancer Institute:

<http://www.cancer.gov/>

Monografías

<http://www.monografias.com/trabajos/celula/celula.shtml>

<http://www.monografias.com/trabajos11/lacelul/lacelul.shtml>

Tesis y monografías.

<http://www.tesisymonografias.net/>

Página de la International Commission on Non Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

<http://www.icnirp.org/>

Página de la World Health Organization (Organización Mundial de la Salud)

<http://www.who.int/en/>

Página de la ARP. Sociedad para el avance del pensamiento crítico.

<http://www.arp-sapc.org/articulos/antenas4.html>

Página de Rebelión.org. Por Pedro Belmonte

<http://www.rebelion.org/noticia.php?id=47419>

Página de The Ecologist para España y Latinoamérica.

[http://www.theecologist.net/files/articulos/21\\_art4.asp](http://www.theecologist.net/files/articulos/21_art4.asp)

Página de Grupo ICE (Costa Rica)

[http://www.grupoice.com/esp/ele/camp\\_elect/cam\\_ele\\_est.htm](http://www.grupoice.com/esp/ele/camp_elect/cam_ele_est.htm)

Revista Libertad. Suplemento Digital.

<http://revista.libertaddigital.com/cables-de-alta-tension-y-cancer-44.html>

Estrucplan on line. Primer portal de salud, seguridad y medio ambiente.

<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=597>

<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=611>

XXIV Congreso Nacional de Investigación Biomédica (Mexico)

<http://www.congresobiomedico.org.mx/memorias/htm/297/553.htm>

Factores ambientales de riesgo, radicales libres y enfermedad. Revision.

Autor: Dr. Jaime Altamar Rios | Publicado: 25/09/2007

<http://www.portalesmedicos.com/publicaciones/articulos/688/1/Factores-ambientales-de-riesgo-radicales-libres-y-enfermedad-Revision.html>

## Documentos.

**“CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS GENERADOS POR LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS DE ALTA TENSIÓN. POSIBLES EFECTOS SOBRE LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE.”** *S. Castaño Lara, J. M. Gómez Ros, A. Real Gallego. CIEMAT. Madrid*

**“GUIDELINES ON LIMITS OF EXPOSURE TO STATIC MAGNETIC FIELDS”**, ICNIRP, c/o BfS – G. Ziegelberger, Ingolstaedter Landstr. 1, 85764 Oberschleissheim, Germany. For correspondence contact G. Ziegelberger at the above address, or email at [info@icnirp.org](mailto:info@icnirp.org). (Manuscript accepted 4 December 2008) 0017-9078/09/0

Environmental Health Criteria 238 y 205, **“EXTREMELY LOW FREQUENCY FIELDS”**, World Health Organization.

**“Extremely low frequency electromagnetic fields (EMF) and brain cancer in adults and children: Review and comment”**. James G. Gurney and Edwin van Wijngaarden

**“Informe científico sobre el efecto de los campos electromagnéticos en el sistema endocrino humano y patologías asociadas”** Profesor Darío Acuña Castroviejo, Catedrático de Fisiología de la Universidad de Granada.

**“Canales Iónicos”**. Por la Dra. Teresa Giráldez Fernández. Investigadora postdoctoral. Unidad de Farmacología. Universidad de La Laguna. Trabajo publicado en [www.fisionet.org](http://www.fisionet.org) en octubre de 2006.