

# SALUD AMBIENTAL 2.0

## MÓDULO 3. RIESGOS DERIVADOS DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

### En esta unidad...

1. Electricidad estática
2. Campos de baja frecuencia

### Introducción

La aplicación más revolucionaria de los campos eléctricos y magnéticos es que a partir de ellos es posible construir “fábricas de energía” y mediante conductores transportar la electricidad a grandes distancias. La capacidad de utilizar la energía en cualquier parte sin necesidad de aproximación a la fuente constituye el resultado científico que más ha contribuido a alcanzar el nivel de bienestar, cultura, seguridad sanitaria y capacidad industrial de los pueblos más desarrollados.



Es fácil comprobar que todo avance positivo tiene su contrapartida y que si utilizamos energía hay que pagar un coste. Este coste, más allá de las facturas, es la estética del campo y la ciudad dañada por las torres que sustentan los conductores de suministro, la perturbación ecológica del lugar en que se almacena la energía, el aumento de la intensidad ambiental de campos de 50Hz y lo que nos preocupa fundamentalmente: la aparición de población con enfermedades degenerativas, cardiovasculares y autoinmunes en las proximidades de líneas de transporte eléctrico, transformadores, instalaciones eléctricas deficientes, etc.

Pero tampoco debemos olvidar otro fenómeno relacionado con la electricidad: la electricidad estática. Entendida comúnmente como pequeñas descargas molestas procedentes de ropa o mobiliario, los riesgos que supone para nuestra salud pueden ir más allá de simples manifestaciones en forma de chispas. En la actualidad ha cobrado importancia el denominado Síndrome del Edificio Enfermo (conocido por sus siglas SBS del inglés Sick Building Syndrome), que afecta fundamentalmente a los ocupantes de edificios de oficinas modernos, con problemas de calidad del aire y con materiales de construcción que favorecen la aparición de la electricidad estática. Afortunadamente, hasta el momento, sus efectos no parecen ser tan graves

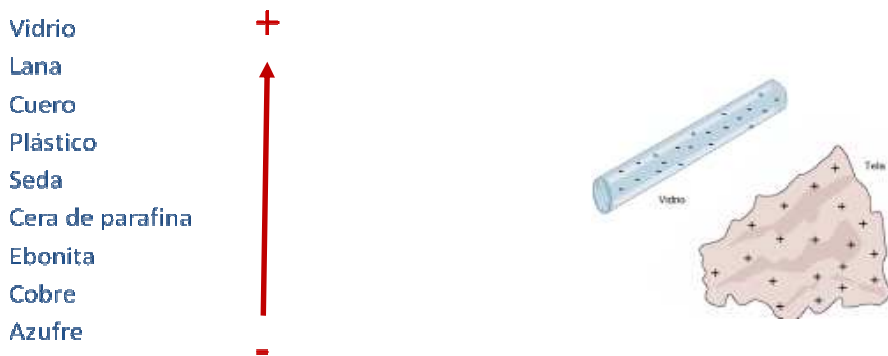


como los derivados del transporte eléctrico de baja frecuencia, pero no deja de ser un riesgo emergente a tener en cuenta.

## 1. Electricidad estática

El **electromagnetismo** es una rama de la Física que estudia y unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos. Recordemos que la carga eléctrica es una magnitud fundamental que se mide en culombios (C) y cuya unidad mínima es la carga del electrón  $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  C. Decimos que la materia es neutra cuando encontramos la misma cantidad de cargas positivas y negativas. Un intercambio de electrones provoca que los objetos se carguen: si un objeto neutro gana electrones quedará cargado negativamente y si los pierde, la carga será positiva. La ionización consiste en la pérdida o ganancia de electrones por parte de un átomo o molécula, o bien la ruptura de enlaces químicos. Un aporte energético (por ejemplo, una radiación exterior) puede arrancar los electrones del átomo, dejándolos libres para combinarse a su vez con otros átomos e iones.

La carga eléctrica se puede conseguir simplemente frotando unos materiales con otros para que se produzca transferencia de electrones. Los tejidos como la lana suelen adquirir carga positiva con el rozamiento. En este esquema de serie triboeléctrica podemos ver la tendencia de ciertos materiales a cargarse positiva o negativamente:



Cuando la diferencia de potencial es muy elevada y el ambiente es seco es fácil que se generen descargas. Una descarga en el ambiente se produce cuando el campo eléctrico supera el que corresponde a la ruptura dieléctrica del aire. Este campo es de 3 MV/m, aunque se producen pequeñas descargas a campos inferiores si la geometría del objeto tiene puntas o bordes.

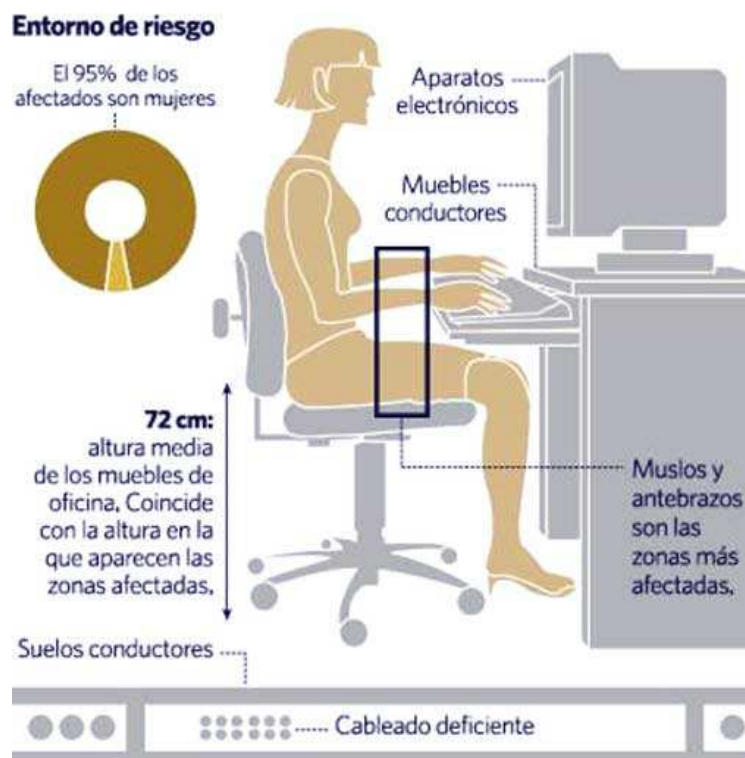


Asumido el claro riesgo que supone una descarga eléctrica potente para nuestro organismo, existen otros efectos no tan evidentes. Por ejemplo, el fenómeno de los radicales libres: un electrón libre puede interactuar con una molécula ionizándola negativamente, y volviéndola altamente reactiva. También los iones positivos de los que procedía el electrón son muy reactivos y se combinarán fácilmente con biomoléculas, modificando composiciones y funcionalidades. La energía liberada en una descarga eléctrica puede producir daños celulares y, como consecuencia, un mal funcionamiento con efectos a nivel macroscópico.

## EFFECTOS ADVERSOS

Los campos electroestáticos pueden tener varios efectos adversos:

- Debido a que las descargas son molestas, e incluso dolorosas, son bastante estresantes.
- Pueden producir espasmos musculares.
- Pueden producir mal humor debido al constante malestar o temor por la descarga.
- Pueden producir dolor de cabeza
- Pueden producir lipoatrofia semicircular, es un trastorno de la grasa subcutánea que se manifiesta visualmente como una retracción de la piel



## 2. Campos de baja frecuencia

Las bajas frecuencias en el espectro electromagnético comprenden desde las ELF (Extremely Low Frequency) hasta las LF (Low Frequency) según el siguiente esquema:

Denominación	Frecuencia	Longitud de onda
ELF (Extremely Low Frequency) Red eléctrica, campos naturales	3 Hz – 30 Hz	100.000 – 10.000 km
SLF (Super Low Frequency) Red eléctrica, submarinos	30 Hz – 300 Hz	10.000 - 1.000 km
ULF (Ultra Low Frequency) Comunicación segura, terremotos	300 Hz – 3000 Hz	1.000 – 100 km
VLF (Very Low Frequency) Navegación, militares	3 kHz – 30 kHz	100 – 10 km
LF (Low Frequency) Radiodifusión AM	30 kHz – 300 kHz	10 – 1 km

La fuente natural principal es el conjunto tierra-ionosfera, en el que encontramos radiación con frecuencia de 7,8 Hz, que resuena entre la superficie terrestre y la ionosfera atmosférica constituyendo la denominada resonancia Schumann, que presenta armónicos en otras frecuencias algo superiores. Las ondas cerebrales alfa, beta, delta y theta también funcionan en longitudes de onda muy bajas, hasta los 40 Hz.

Entre las fuentes artificiales encontramos la mencionada red eléctrica (50/60 Hz), electrodomésticos, transformadores, algunas antenas de telecomunicación y comunicaciones de muy largo alcance.

### EL TRANSPORTE ELÉCTRICO EN ESPAÑA

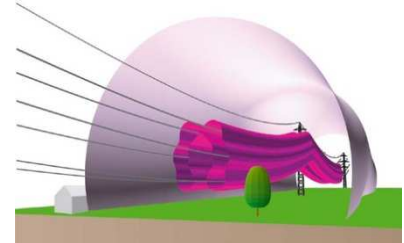
Actualmente existen en España 35000 Km de líneas de alta tensión y 3400 subestaciones eléctricas. La demanda de energía eléctrica por parte de la población crece de forma continuada y aparecen nuevas necesidades, como el AVE, que requieren un aporte extra. Esto hace que en los últimos años se haya extendido aún más la presencia de estas líneas, al tiempo que crece la preocupación ciudadana.



A menudo nos encontramos con que el primer aspecto negativo perceptible es estético: las líneas de transporte eléctrico alteran el paisaje natural de forma clara. Otros se inquietan por los efectos sobre la fauna y la flora, y ya se conocen pájaros que sufren los efectos de los campos magnéticos desorientándose.

Sin embargo, el efecto que menos se conoce (y al que se da menor importancia, en general) es el efecto sobre los seres humanos.

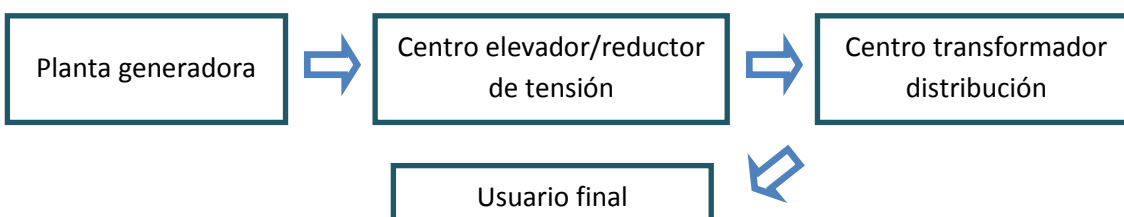
En las últimas décadas se han encontrado núcleos de concentración de enfermedades como la leucemia infantil en el entorno de líneas de alta tensión, y es de destacar que los campos de baja frecuencia son considerados potencialmente carcinógenos (categoría 2B) por la IARC (International Agency for Research on Cancer) desde hace más de una década.



En la actualidad el transporte eléctrico se realiza en corriente alterna a 50 Hz (60 Hz en otros países, como EEUU o Canadá), y el usuario la recibe en su domicilio con una tensión de 220 V. La elección de corriente alterna en lugar de continua obedece a una minimización de las pérdidas de energía durante el transporte.

La energía eléctrica viene dada por el producto de la tensión, la intensidad y el tiempo. Dado que la sección de los conductores de las líneas de transporte de energía eléctrica depende de la intensidad, podemos, mediante un transformador, elevar el voltaje hasta valores elevados, disminuyendo en igual proporción la intensidad de corriente. Con esto la misma energía puede ser distribuida a largas distancias con bajas intensidades de corriente y, por tanto, con bajas pérdidas por causa del efecto Joule y otros efectos asociados al paso de corriente tales como la histéresis o las corrientes de Foucault. Una vez en el punto de consumo o en sus cercanías, el voltaje puede ser de nuevo reducido para su uso industrial o doméstico.

El camino que recorre la electricidad desde su generación hasta su usuario final tiene las siguientes etapas:



Una vez que la energía se obtiene en la planta generadora la electricidad, con una tensión de unos 14 kV, se transporta hasta los centros de aumento de tensión, en los que se incrementa ésta para minimizar las pérdidas. En estos centros se alcanzan los 240/440 kV, lo que supone alta tensión y baja corriente eléctrica. Ahora se puede realizar el transporte a largas distancias con pérdidas mínimas. En los centros reductores de tensión se baja hasta los 125/145 kV, para la distribución en regiones más pequeñas. En los centros transformadores se disminuye aún más a 34,5/13,2 kV para que llegue al usuario una tensión de 220 V.



La conducción se realiza a través de cables de distintos materiales según las propiedades requeridas para cada tensión. Además, el cable puede ir desnudo o recubierto, en líneas aéreas o enterradas, aislados o en haz.

### Clasificación de líneas de transporte

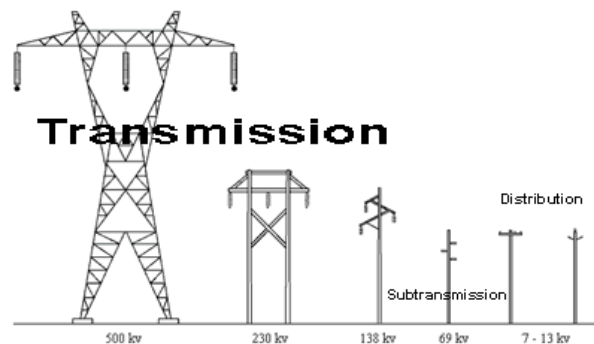
Las **líneas eléctricas de transporte** de energía eléctrica (de **frecuencia obligatoria de 50Hz**) se clasifican según su *tensión nominal* (valor convencional de la tensión con la que se denomina un sistema o instalación y para que el que ha sido previsto su funcionamiento y aislamiento). Viene expresada en kV y se designa por  $U_n$  :

<b>CATEGORIAS DE LÍNEAS DE TRANSPORTE</b>	
<b>CATEGORÍA</b>	<b>TENSIÓN NOMINAL, <math>U_n</math> (kV)</b>
ESPECIAL (MUY ALTA TENSIÓN)	Más de 220
PRIMERA (ALTA TENSIÓN)	66-220
SEGUNDA (MEDIA TENSIÓN)	30-66
TERCERA( BAJA TENSIÓN)	1-30

Las **tensiones** más utilizadas por las **compañías eléctricas** son:

**20 kV, 66 kV, 132 kV, 220 kV y 400 kV**

La estructura de las **torres** que soportan la línea depende fundamentalmente de la tensión que deben transmitir, aunque también de otros factores que tienen que ver con el entorno físico. Como orientación, un mayor tamaño de la torre indica una mayor tensión nominal, entendida como un valor máximo admisible en esa línea.



## POSIBLES EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS BAJAS FRECUENCIAS

Fundamentalmente, podemos distinguir tres tipos de efectos en las cercanías de las líneas de alta tensión y transformadores:

### Efectos electrostáticos

Cerca del suelo bajo la línea puede detectarse en torno a 10 kV/m. por acumulación de cargas. Se pueden registrar descargas eléctricas de mayor o menor intensidad, sensación de hormigueo, efectos en el cabello, etc.

Para la protección de la población frente a estos efectos se establece una zona de servidumbre de vuelo más una zona de seguridad a ambos lados de las líneas, que se sitúa en torno a 5 metros, dependiendo de la tensión nominal de la línea.

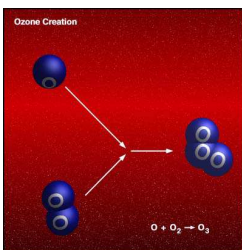
### Efecto corona

Alrededor de los conductores de líneas aéreas se produce ionización del aire circundante. El campo eléctrico es tan intenso en la superficie del cable que es capaz de ionizar las moléculas de aire, alterando la carga de éstas.

Produce luz (principalmente ultravioleta), ruido audible, interferencias de radio, y degradación del conductor por corrosión.



### Efectos gaseosos



Debido al efecto corona, se produce la formación de moléculas de ozono y otros gases perjudiciales para la salud.

Estos compuestos pueden verse arrastrados por el viento, lo que explicaría los efectos nocivos a grandes distancias de las líneas.

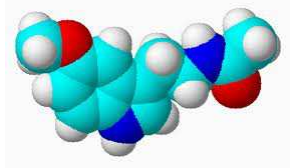
### Mecanismos biológicos

Los científicos llevan algunas décadas estudiando los efectos de los campos de bajas frecuencias. Al tratarse de bajas energías, no se ha dado importancia a sus consecuencias, excepto en el caso de las descargas



eléctricas. Sin embargo ya se ha observado una relación entre las bajas frecuencias y alteraciones cardiovasculares, diversos tipos de cáncer, leucemia infantil y otros. Aunque los mecanismos biológicos que tienen lugar aún no están claros, los indicios apuntan a los siguientes procesos:

- Inducción de corrientes que alteran el voltaje a través de las membranas celulares reduciendo la efectividad del sistema inmunológico.
- Inhalación de partículas cargadas que dañan el aparato respiratorio.
- Inhibición de la secreción de melatonina por la glándula pineal. La melatonina es una hormona con un papel fundamental en el sueño, la reparación celular y la respuesta inmunológica. En mujeres con cáncer de mama se encuentran niveles bajos de esta sustancia.
- Alteración del ritmo cardiaco, lo que puede derivar en arritmias y enfermedades cardiovasculares serias.



## ESTUDIOS RELEVANTES

- Ahlbom et al. *A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia*. British Journal of Cancer, 2000, 83(5): 692-698.

Estudio epidemiológico sobre más de **13000 niños** de distintos países sometidos a campos magnéticos de 50-60 Hz en sus hogares. Se encontró que el **riesgo relativo de padecer leucemia era el doble para aquellos niños con niveles de exposición superiores a 400 nT**, frente a los que presentaban niveles de exposición de menos de 400 nT.

- Greenland et al. *A Pooled Analysis of Magnetic Fields, Wire Codes, and Childhood Leukemia*. Epidemiology 2000;11:624-634.

Realizado a partir de 15 investigaciones previas sobre el efecto de campos magnéticos de 50/60 Hz. El riesgo de leucemia infantil aumenta significativamente cuando hay campos superiores a 300 nT.

- G. Draper, T. Vincent, M. E. Kroll, J. Swanson. *Childhood cancer in relation to distance from high voltage power lines in England and Wales: a case-control study*. British Medical Journal, 2005, vol. 330: 1290.

Se estudiaron más de 29000 casos de cáncer infantil, entre ellos 9700 de leucemia. Existe una relación entre la leucemia infantil y la proximidad de los hogares en el momento del nacimiento a líneas de alta tensión. El riesgo se extiende a mayores distancias de lo esperado en estudios anteriores. A menos de 200 m. de distancia, el riesgo es de 1.69, mientras que entre 200 y 600 m. el riesgo es de 1.23.

## RECOMENDACIONES

Las recomendaciones sobre límites de exposición más relevantes hasta el momento en el ámbito de las bajas frecuencias han sido:

- Bioinitiative Report (agosto 2007): 0,1  $\mu\text{T}$ .
- Resolución de Salzburgo (2012): 0,1 – 0,2  $\mu\text{T}$ .
- Resolución de Seletun (noviembre 2009): 0,1  $\mu\text{T}$ .
- IBN (Institut für Baubiologie Neubern): 0,1  $\mu\text{T}$  y 5 V/m.

Algunas medidas que el ciudadano puede adoptar para ayudar a reducir los riesgos derivados de cargas estáticas y bajas frecuencias son:

- Humedad relativa > 50% para evitar electricidad estática.
- Ionizadores en caso necesario.
- Evitar materiales que favorezcan la acumulación de cargas estáticas.
- Instalación eléctrica y toma de tierra funcionando correctamente.
- Alejamiento de la fuente en el caso de campo magnético de baja frecuencia.
- Uso de materiales apantallantes.

## En resumen...

- El término “baja frecuencia” se refiere en general a los campos eléctrico y magnético de 50/60 Hz generados por el transporte eléctrico, electrodomésticos, transformadores, etc.
- Las normativas española y europea permiten límites miles de veces más elevados que los recomendados por organismos independientes.
- Las recomendaciones independientes sugieren unos valores máximos admisibles de 0,1  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (alta frecuencia) y 0,1  $\mu\text{T}$  (100 nT) (baja frecuencia)
- Los campos eléctricos y magnéticos de baja frecuencia se originan fundamentalmente en el transporte y uso de la energía eléctrica: líneas de tensión, transformadores, energía eléctrica, etc.
- Algunas investigaciones destacadas han hallado relación entre la proximidad a líneas de alta tensión y la leucemia infantil.
- En España, los valores de referencia para campo eléctrico y magnético de baja frecuencia están regulados por el Real Decreto 1066/2001. Las condiciones de seguridad de instalaciones de redes de alta tensión están recogidas en el RD 223/2008, que establece distancias de seguridad de 5 a 10 metros a cada lado de la línea.
- Bajo la línea de alta tensión se pueden registrar campos magnéticos entre 1 y 20  $\mu\text{T}$ .
- Las recomendaciones independientes aconsejan niveles inferiores a 0,1  $\mu\text{T}$  para evitar riesgos.

## Recursos adicionales

Para profundizar más sobre estos temas os sugerimos visitar estos enlaces:

- ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic field (1 Hz – 100 kHz)  
[www.icnirp.de/documents/LFgdl.pdf](http://www.icnirp.de/documents/LFgdl.pdf)
- ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)  
[www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf](http://www.icnirp.de/documents/emfgdl.pdf)
- Bioinitiative Report: *A rationale for biologically-based exposure standards for low-intensity electromagnetic radiation*. 2012.  
[www.bioinitiative.org](http://www.bioinitiative.org)

## Bibliografía

- ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74(4): 494-522, 1998.
- ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic field (1 Hz – 100 kHz). *Health Physics* 99(6): 818-836, 2010.
- Bioinitiative Report: *A rationale for biologically-based exposure standards for low-intensity electromagnetic radiation*. 2012. <[www.bioinitiative.org](http://www.bioinitiative.org)>