

## 1. Campos Eléctricos y Magnéticos Estáticos y Salud Humana<sup>12</sup>

### 1) ¿ Alguien piensa que los campos eléctricos o magnéticos estáticos producen cáncer o cualquier otro problema de salud?

Gran parte de la preocupación sobre campos electromagnéticos (CEM) y cáncer se ha concentrado en la frecuencia industrial, microondas (MO) y radiofrecuencias (RF) y se ha sugerido que los campos estáticos pueden producir o contribuir al cáncer.

Sin embargo, hay muy poca base teórica para sospechar que los campos estáticos puedan causar o contribuir al cáncer o a cualquier otro problema de salud (P17), y muy poca evidencia de laboratorio (P11, P12, P13, P15, P16, P23) o epidemiológica (P8, P9, P10, P23) de una asociación entre campos estáticos y riesgos para la salud humana.

### 2) ¿ Pueden considerarse todos los campos electromagnéticos como iguales al evaluar si puede haber relación entre cáncer y los campos eléctricos o magnéticos estáticos?

**No.** La naturaleza de la interacción entre una emisión electromagnética y el material biológico depende de la frecuencia de la emisión, así que los diferentes tipos de emisiones electromagnéticas deben ser evaluados de forma individual.

Los rayos X, luz ultravioleta, luz visible, campos eléctricos y magnéticos generados por los sistemas de energía eléctrica (campos de frecuencia industrial) y campos magnéticos estáticos son todas emisiones electromagnéticas diferentes, caracterizadas por su frecuencia o su longitud de onda.

A muy altas frecuencias, características del ultravioleta lejano y los rayos X, las partículas electromagnéticas (fotones) tienen suficiente energía para romper los enlaces químicos. Esta ruptura de los enlaces es conocida como "ionización", y por ello a esa parte del espectro electromagnético se le denomina "ionizante".

A frecuencias más bajas, como las de la luz visible, radio y microondas, la energía de un fotón está muy por debajo de la que es necesaria para romper enlaces químicos. Esta parte del espectro se conoce como "no ionizante". Las emisiones de energía electromagnética no ionizante pueden producir efectos biológicos, pero como la energía electromagnética no ionizante no puede romper los enlaces químicos, no existe analogía entre los efectos biológicos de la energía electromagnética ionizante y no ionizante [11].

De este modo, en términos de posibles efectos biológicos, el espectro electromagnético se puede dividir en cuatro partes:

1. La parte ionizante, donde puede haber un daño químico directo (**rayos X, ultravioleta lejano**).
2. La parte no ionizante, que puede subdividirse en:
  - a La parte de la radiación óptica, donde puede darse la excitación del electrón (**ultravioleta cercano, luz visible, infrarrojo**).
  - b La parte donde la longitud de onda es más pequeña que el cuerpo, y puede haber calentamiento a través de corrientes inducidas (**microondas y ondas de radio de alta frecuencia**).
  - c La parte donde la longitud de onda es mucho mayor que el cuerpo, y el calentamiento por corrientes inducidas ocurre en raras ocasiones (**ondas de radio de baja frecuencia, campos de frecuencia industrial y estáticos**).

### 3) ¿ Tenemos que considerar tanto la radiación electromagnética como los campos electromagnéticos al evaluar si puede haber relación entre cáncer y los campos eléctricos o magnéticos estáticos?

**No.** Las emisiones electromagnéticas estáticas no producen radiación.

En general, las emisiones electromagnéticas producen tanto energía radiante (radiación) como no radiante (campos). La energía radiada existe independientemente de su fuente, viaja lejos de su fuente y continúa existiendo aun cuando la fuente se apaga. En cambio, los campos no se proyectan al espacio y cesan cuando la fuente se apaga. Los campos electromagnéticos estáticos no tienen componente radiativa.

### 4) ¿ Tenemos que considerar tanto la componente eléctrica del campo como la magnética al evaluar si puede haber relación entre cáncer y los campos eléctricos y magnéticos estáticos?

**No.** Sólo la componente magnética del campo parece ser relevante para posibles efectos en la salud.

Los campos magnéticos son difíciles de apantallar y penetran fácilmente en edificios y personas. Por el contrario, los campos eléctricos tienen muy poca capacidad de penetración en la piel o edificios. 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 a la componente magnética del campo o a los campos eléctricos y corrientes que estos campos magnéticos inducen en el cuerpo [6, 10].

<sup>1</sup> Adaptado por Ernesto de Titto, Unidad Coordinadora de Salud y Ambiente, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación de: John Moulder, Campos Eléctricos y Magnéticos Estáticos y Salud Humana versión del 27 septiembre 2004 y Estableciendo un diálogo sobre los Riesgos de los Campos Electromagnéticos, publicación de la Organización Mundial de la Salud, Ginebra 2005.

<sup>2</sup> Las referencias a otras preguntas se indican con la letra P seguida del número de la pregunta; por ejemplo, (P16) indica que hay más información en la Pregunta 16.

---

## 5) ¿Qué unidades se utilizan para medir campos magnéticos estáticos?

Los campos magnéticos generalmente se miden en **Tesla (T)**, miliTesla (miliT o mT) y microTesla (microT o  $\mu$ T). En Estados Unidos, los campos a veces se siguen midiendo en **Gauss (G)** y miliGauss (mG), siendo  $10.000 \text{ G} = 1 \text{ T}$

En algunas publicaciones de Europa oriental los campos se especifican en **Oersted (Oe)**, que son unidades de intensidad de campo magnético. Cuando se trata con exposición de material no ferromagnético, como animales o células, la densidad de flujo magnético y la intensidad de campo magnético se pueden considerar equivalentes, así pues:

$1 \text{ Oersted} = 1 \text{ Gauss} = 100 \text{ microT} = 0,1 \text{ miliT}$

En este documento la unidad utilizada será miliT (miliTesla).

---

## 6) ¿Qué niveles de campo magnético estático son habituales en viviendas?

La exposición residencial y ambiental a campos magnéticos estáticos está dominada por el campo natural de la Tierra, que varía entre 0,03 y 0,07 miliT, dependiendo de la localización. Los campos magnéticos estáticos justo debajo de líneas de transporte de energía eléctrica continua (DC) están alrededor de 0,02 miliT.

Son comunes pequeñas fuentes artificiales de campos estáticos (imanes permanentes), desde los especializados (componentes de altavoces, motores con batería, hornos microondas) hasta triviales (imanes de refrigeradores). Estos pequeños imanes pueden producir campos de 1-10 miliT a 1 cm de sus polos magnéticos. La exposición más elevada a campo magnético estático por parte del público en general proviene de las imágenes de resonancia magnética (en inglés, MRI), donde los campos varían entre 150 y 2.000 miliT [7, 20].

Una fuente de exposición a campos estáticos que empaña la distinción entre exposición residencial y laboral son los trenes eléctricos, cuyos campos estáticos pueden llegar a 0,2 miliT [2].

---

## 7) ¿Qué niveles de campo magnético estático son habituales en lugares de trabajo?

Las personas expuestas laboralmente a campos estáticos incluyen operadores de unidades de resonancia magnética (MRI), personal de instalaciones de física especializada y biomédicas (por ejemplo, aquellos que trabajan en aceleradores de partículas) y trabajadores involucrados en procesos electrolíticos, como la producción de aluminio. Algunos trabajadores de la industria del aluminio están expuestos a campos de 5-15 miliT durante largos periodos de tiempo, con exposiciones promedio de sólo 2-4 miliT [22] y máximas de hasta 60 miliT [12, 20]. Se ha informado que los trabajadores de plantas que usan celdas electrolíticas están expuestos a campos de 4-10 miliT durante largos periodos de tiempo, con exposiciones máximas de hasta 30 miliT [1, 8]. Las personas que trabajan en aceleradores de partículas están expuestas a campos por encima de 0,5 miliT durante largos periodos de tiempo, con exposiciones por encima de 300 miliT durante muchas horas y exposiciones máximas de hasta 2.000 miliT [2].

---

## 8) ¿Qué se sabe sobre la relación entre exposición laboral a campos estáticos y cáncer?

Se han realizado relativamente pocos estudios sobre incidencia de cáncer en trabajadores expuestos a CEM estáticos. Budinger y col. [2] no han encontrado un exceso de cáncer en trabajadores expuestos a campos de 300 miliT generados por aceleradores de partículas, y Barregard y col. [1] no han encontrado un incremento de cáncer en trabajadores expuestos a campos de 10 miliT en una planta de producción de cloro.

El único estudio en plantas de reducción de aluminio que investigó específicamente la exposición a campos estáticos y cáncer no encontró ningún exceso de cáncer del sistema nervioso o hematopoiético [15].

---

## 9) ¿Cómo determinan los científicos si un agente ambiental, como un campo eléctrico o magnético estático, produce o contribuye al desarrollo del cáncer?

Hay ciertos criterios ampliamente aceptados [18, 21], a menudo denominados "Criterios de Hill" [4], que se emplean para evaluar los estudios epidemiológicos y de laboratorio sobre agentes que pueden causar cáncer en humanos. Bajo estos criterios se examina la fuerza, consistencia y especificidad de la asociación entre exposición e incidencia de cáncer, la evidencia de una relación dosis-respuesta, evidencia de laboratorio, la posibilidad biológica de una asociación y la coherencia de la asociación propuesta con lo que se conoce sobre el agente y sobre cáncer.

1. **Fuerza de la asociación:** si existe un claro incremento de la incidencia de cáncer asociado con la exposición. El exceso de cáncer hallado en estudios epidemiológicos se cuantifica normalmente en un número denominado **riesgo relativo (RR)**. Es la incidencia de cáncer en una población "expuesta" dividido por la incidencia de cáncer en una población "no expuesta". Como nadie está no expuesto a campos estáticos, la comparación realmente se hace entre "exposición alta" frente a "exposición baja". Un riesgo relativo de 1,0 significa que no hay efecto, un riesgo relativo menor de 1,0 significa una disminución de la incidencia de cáncer en el grupo expuesto, y un riesgo relativo superior a 1,0 significa un incremento de la incidencia de cáncer en el grupo expuesto. Una asociación fuerte es aquella con un riesgo relativo de 5 o superior. Fumar tabaco, por ejemplo, tiene un riesgo relativo de cáncer de pulmón 10-30 veces superior que no fumar.
2. **Consistencia:** si la mayoría de los estudios muestran el mismo incremento de la incidencia del mismo tipo de cáncer. Utilizando el ejemplo del fumador, básicamente todos los estudios sobre fumar y cáncer han mostrado un incremento de la incidencia del cáncer de pulmón y de cabeza y cuello.
3. **Relación dosis-respuesta:** si aumenta la incidencia de cáncer cuando aumenta la exposición. De nuevo, cuanto más fuma una persona mayor es el incremento de la incidencia de cáncer de pulmón.

4. **Evidencia de laboratorio:** si existe evidencia experimental que sugiera que el cáncer esta asociado con la exposición. Las asociaciones epidemiológicas se refuerzan mucho cuando hay evidencia de laboratorio que apoye de tal asociación.
5. **Mecanismos biológicos posibles:** si hay algún dato biológico o mecanismos biofísicos que sugieran que debe existir una asociación entre agente y cáncer. Cuando se comprende cómo algo causa una enfermedad es mucho más fácil interpretar la epidemiología ambigua. En el caso de fumar, mientras que las pruebas directas de laboratorio relacionando fumar y cáncer eran débiles en el momento en el que se publicaba el informe del Cirujano General de los EEUU, la asociación era altamente posible porque había conocidos agentes causantes de cáncer en el humo del tabaco.
6. **Coherencia:** si la asociación entre exposición a un agente y cáncer es consistente con lo que se sabe sobre la biofísica del agente y la biología del cáncer.

---

## 10) ¿Qué fuerza tiene la evidencia epidemiológica de una asociación causal entre campos estáticos y cáncer?

La aplicación de los criterios de Hill (ver P9) muestra que actualmente la evidencia epidemiológica de una relación entre campos magnéticos estáticos y cáncer es débil o inexistente.

1. Primero, sólo hay una **débil asociación** entre campos magnéticos estáticos y cáncer. Sólo un estudio ha mostrado alguna indicación de asociación entre campos estáticos y cáncer [9], la asociación no es fuerte y sólo se observa con un tipo de cáncer.
2. Segundo, la asociación entre campos magnéticos estáticos y cáncer **no es consistente**. Los estudios en trabajadores expuestos a campos magnéticos estáticos en industrias que no sean plantas de reducción de aluminio [1, 2] no muestran asociación entre exposición a campos estáticos y cáncer, y todos los estudios, excepto uno, entre la industria del aluminio no muestran asociación entre exposición a campos magnéticos estáticos y cáncer.
3. Tercero, como sólo un estudio informa de una asociación entre exposición a campos estáticos y cáncer, el **tema de la especificidad es irrelevante**.
4. Cuarto, **no hay evidencia de una relación dosis-respuesta** entre exposición a campos estáticos e incidencia de cáncer. El único estudio que señala una asociación entre exposición a campos estáticos y cáncer no muestra evidencia de relación dosis-respuesta.

Por lo tanto, **la evidencia epidemiológica de una asociación entre campos magnéticos estáticos y cáncer es débil e inconsistente**, y no consigue mostrar una relación dosis-respuesta.

---

## 11) ¿Son genotóxicos los campos magnéticos estáticos?

**No.** Se han llevado a cabo un amplio rango de estudios sobre genotoxicidad de los campos estáticos en organismos completos y células. En conjunto, estos estudios no ofrecen evidencia consistente de que los campos magnéticos estáticos sean genotóxicos.

---

## 12) ¿Los campos magnéticos estáticos incrementan los efectos de otros agentes genotóxicos?

**Probablemente no.** En general, los campos magnéticos estáticos no parecen tener este tipo de actividad epigenética; pero hay unos pocos estudios que sugieren que los campos magnéticos estáticos intensos podrían amplificar los efectos de otros agentes genotóxicos.

---

## 13) ¿Indican los estudios de laboratorio que los campos magnéticos estáticos tienen algún efecto biológico que pueda ser relevante para el cáncer o cualquier otro problema de salud?

**No.** Los estudios de laboratorio sobre los efectos de los campos magnéticos estáticos muestran que estos campos no tienen ningún efecto consistente sobre el crecimiento tumoral, crecimiento celular, funcionamiento del sistema inmunológico o balance hormonal.

---

## 14) ¿Muestran los campos magnéticos estáticos algún efecto biológico reproducible en estudios de laboratorio?

**Sí.** Mientras que las pruebas de laboratorio no sugieren una conexión entre campos magnéticos estáticos y cáncer, los estudios han mostrado que los campos magnéticos estáticos tienen "bioefectos", particularmente a intensidades de campo por encima de 2.000 mIiT [5, 6, 7, 10, 13, 14, 17]. Estos bioefectos no tienen una relación obvia con el cáncer.

---

## 15) ¿Los campos magnéticos estáticos muestran efectos biológicos reproducibles a la intensidad que se encuentra en ambientes laborales?

**Posiblemente.** Se ha informado de unos pocos efectos biológicos en sistemas de laboratorio con campos de hasta 20 mIiT y algunos organismos parecen ser capaces de detectar cambios en la intensidad y/o la orientación del campo magnético estático de la Tierra (0,03-0,05 mIiT) [7, 10].

---

**16) ¿Existen mecanismos conocidos que puedan explicar cómo los campos magnéticos estáticos de la intensidad que se encuentra en ambientes laborales podrían producir efectos biológicos en humanos?**

**No.** Existen mecanismos biológicos conocidos a través de los cuales campos magnéticos estáticos intensos (por encima de 2.000 mT) podrían producir efectos biológicos [7,14], pero estos mecanismos no podrían explicar efectos biológicos de campos estáticos de intensidades por debajo de 200 mT [7, 14].

---

**17) ¿Los criterios de Hill aplicados a la suma de resultados de laboratorio y epidemiológicos indican que existe relación entre campos estáticos y cáncer?**

**La aplicación de los criterios de Hill (P9) muestra que la evidencia de una asociación causal entre exposición a campos estáticos y la incidencia de cáncer es débil o inexistente.**

---

**18) ¿Ha revisado algún organismo independiente la investigación sobre campos eléctricos y magnéticos estáticos y sus posibles efectos en la salud humana?**

**Sí.** Se han publicado varias revisiones de la literatura epidemiológica y de laboratorio. Ninguna de estas revisiones ha concluido que los campos magnéticos o eléctricos estáticos de la intensidad que se encuentra en ambientes residenciales y laborales sean un riesgo para la salud humana.

---

**19) ¿Existen normas de exposición a campos eléctricos y magnéticos estáticos?**

**Sí.** Cierta número de organizaciones gubernamentales y profesionales han desarrollado normas de exposición, o han modificado o confirmado sus normas anteriores. Para marcapasos y equipos médicos implantados.

---

**20) ¿Cuáles son las bases de las normas de seguridad establecidas por las agencias?**

La normativa se basa en dos consideraciones.

- a Mantener las corrientes eléctricas inducidas por el movimiento a través del campo magnético estático a niveles por debajo de las que se dan de forma natural en el cuerpo.
  - b Mantener las corrientes inducidas por el flujo de corriente en los vasos sanguíneos grandes a niveles que no produzcan efectos hemodinámicas o cardiovasculares.
- 

**21) ¿Los campos estáticos reducen la fertilidad, causan defectos de nacimiento o incrementan las tasas de aborto?**

**No existe evidencia convincente de tales efectos.**

---

**22) ¿Las fuentes de campo estático (como las líneas eléctricas en corriente continua) podrían causar efectos en la salud generando o atrayendo partículas ionizadas o químicas?**

**No hay evidencia consistente de tales efectos.**

---

## Bibliografía

1. Barregard L. y col.: Cancer among workers exposed to strong static magnetic fields (letter), *Lancet* October 19, 1985:892, 1985.
2. Budinger T.F. y col.: Biological effects of static magnetic fields, In: *Proc. 3rd Annual Soc Magnet Reson Med Berkeley*, pp. 113-114, 1984.
3. Chadwick P. y col.: Magnetic fields on British trains. *Ann Occup Hyg* 5:331-335, 1998.
4. Hill A.B.: The environment y disease: Association or causation? *Proc. Royal Soc. Med.* 58:295-300, 1965.
5. International Non-Ionizing Radiation Committee: Protection of the patient undergoing a magnetic resonance examination, *Health Phys.* 61:923-928, 1991.
6. Kanal E. y col.: Safety considerations in MR imaging, *Radiology* 176:593-606, 1990.
7. Kowalczuk C.I. y col.: Biological Effects of Exposure to Non-ionizing Electromagnetic Fields y Radiation. I. Static Electric y Magnetic Fields (NRPB-R238), National Radiation Protection Board, Chilton, 1991.
8. Marsh J.L. y col.: Health effect of occupational exposure to steady magnetic fields, *Amer. Indust. Hygiene Assoc. J.* 43:387-394, 1982.
9. Milham S.: Mortality in aluminum reduction plant workers, *J. Occup. Med.* 21:475-480 (1979).
10. Miller G.: Exposure guidelines for magnetic fields, *Amer. Indust. Hygiene Assoc. J.* 48:957-968, 1987.
11. Moulder J.E. y Foster K.R.: Biological effects of power-frequency fields as they relate to carcinogenesis. *Proc Soc Exp Biol Med* 209:309-324, 1995.
12. NIOSH Health Hazard Evaluation Report: Alumax of South Carolina, Centers for Disease Control y Prevention, NIOSH, 1994.
13. Prato F.S. y col.: Blood-brain barrier permeability in rats is altered by exposure to magnetic fields associated with magnetic resonance imaging at 1.5 T, *Micro. Res. Tech.* 27:528-534, 1994.
14. Repacholi M.H. y col.: Guidelines on limits of exposure to static magnetic fields, *Health Phys.* 66:100-106, 1994.
15. Ronneberg A. y Yersen A.: Mortality y cancer morbidity in workers from an aluminium smelter with prebaked carbon anodes -- part II: cancer morbidity. *Occup Environ Med* 52:250-254, 1995.
16. Scaiano J.C. y col.: Model for the rationalization of magnetic field effects *in vivo*. Application of the radical-pair mechanism to biological systems, *Photochem. Photobiol.* 59:585-589, 1994.
17. Schenck J.F.: Health and physiological effects of human exposure to whole-body four-Tesla magnetic fields during MRI, *Ann. NY Acad. Sci.* 649:285-301, 1992.
18. Schlesselman J.J.: "Proof" of cause y effect in epidemiologic studies: Criteria for judgment. *Prev Med* 16:195-210, 1987.
19. Schulten K.: Magnetic field effects in chemistry y biology, *Adv. Solid State Phys.* 22:61-83, 1982
20. Stuchly M.A.: Human exposure to static y time-varying magnetic fields, *Health Phys.* 51:215-225 1986.
21. Taubes G.: Epidemiology faces its limits. *Science* 269:164-169, 1995.
22. VonKaenel R. y col.: The determination of the exposure to electromagnetic fields in aluminum electrolysis, In: "Light Metals 1994", U. Mannweiler, ed. The Minerals, Metals y Materials Society, pp. 253-260, 1994.