

RIESGO PARA LA SALUD POR RADIACIONES NO IONIZANTES DE LAS REDES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL PERÚ

Víctor M. Cruz ¹

RESUMEN

Se revisa las publicaciones internacionales y nacionales más importantes, especialmente aquellas que han sido conducidas en el marco del Proyecto Internacional Campos Electromagnéticos de la Organización Mundial de la Salud, para conocer los efectos biológicos y en la salud de los campos de energía eléctrica. Por otro lado, la exposición a nivel poblacional, residencial y ocupacional se revisó a través de las principales evaluaciones peruanas de los servicios y sistemas de energía eléctrica llevadas a cabo en el ámbito nacional desde el 2002 al 2008 a través de muestras representativas que incluyen la medición de más de 1400 puntos. La evaluación de la exposición muestra que los niveles promedio más altos de exposición en el Perú son producidos por las líneas de alta tensión de 220 kV; sin embargo, para la mayoría de los casos (98%) se encuentran por debajo de los límites recomendados. La evaluación de riesgo de las radiaciones no ionizantes de las redes de energía eléctrica en el Perú demuestra que el riesgo para la salud de las redes de energía eléctrica es no significativo.

Palabras clave: Salud ambiental; Radiación no ionizante; Energía eléctrica, Perú (fuente: DeCS BIREME).

HEALTH RISK TO NON-IONIZING RADIATION BY THE ELECTRICITY NETWORKS IN PERU

ABSTRACT

We review most important national and international publication, specially those which has been conducted within the framework of the International Electromagnetic Field Project of the World Health Organization, for known the biological and health effects of the electric energy fields. The level of population, residential and occupational exposure were revised in principal Peruvian evaluation of electricity services and system realized since 2002 to 2008 with representative samples which included more than 1400 locations measurement. Exposure evaluation showed that the highest exposure levels in Peru came from 220 kV high voltage power lines, However, in most cases (98%) are below the recommended limits. The risk assessment of non-ionizing radiation from electric power network in Peru shows that the health risk is not significant.

Key words: Environmental health; Radiation, nonionizing; Electricity; Peru (source: MeSH NLM).

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las redes de energía eléctrica en el Perú han expandido grandemente su cobertura. En el periodo 1995-2007 la potencia instalada ha crecido de 4 492 a 7 059 MW, la producción de energía eléctrica se ha incrementado de 16 680 a 29 857 GWh y los clientes han aumentado de 2 491 835 a 4 354 906 personas ⁽¹⁾. El crecimiento de las redes de energía eléctrica es necesario y representa uno de los indicadores más importantes del progreso de las naciones.

Paralelamente a este vigoroso crecimiento, algunos sectores de la población han desarrollado una seria preocupación por los posibles efectos de las radiaciones no ionizantes de las redes de energía eléctrica.

Este artículo busca determinar de manera cuantitativa el nivel de riesgo debido a las redes de energía eléctrica. Para ello, por un lado se evalúa la toxicidad de las radiaciones no ionizantes basados en los resultados de las revisiones más importantes con respecto a los efectos en la salud, especialmente las que han sido desarrolladas dentro del marco propuesto por el Proyecto Internacional Campos Electromagnéticos de la Organización Mundial de la Salud. Por otro lado, se evalúa los niveles de exposición a las radiaciones no ionizantes producidas por las distintas instalaciones de las redes de energía eléctrica, incluyendo las centrales de generación eléctrica, las líneas de transmisión, las subestaciones de transformación y las líneas de distribución.

¹ Ingeniero de Telecomunicaciones, Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

IDENTIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS Y EN LA SALUD

Para la evaluación de los efectos en la salud, se ha realizado una revisión de los principales documentos publicados por organizaciones internacionales tales como el *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) ⁽²⁾, la *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) ⁽³⁻⁵⁾, la *International Agency for Research on Cancer* (IARC) ⁽⁶⁾ y la Organización Mundial de la Salud (OMS) ⁽⁷⁾. También se revisó los documentos nacionales más importantes realizados por instituciones de Alemania ⁽⁸⁾, Australia ⁽⁹⁾, Canadá ^(10,11), la Comisión Europea ⁽¹²⁾, Estados Unidos ⁽¹³⁾, Francia ⁽¹⁴⁾, Holanda ⁽¹⁵⁾ y Reino Unido ⁽¹⁶⁻¹⁸⁾.

Los estudios de efectos biológicos y en la salud por exposición a los campos electromagnéticos se iniciaron en la década de 1950 y actualmente la base de datos del Proyecto Internacional Campos Electromagnéticos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) tiene un total de 247 estudios para frecuencias extremadamente bajas, de los cuales 154 son para frecuencias de redes de energía eléctrica ⁽⁴⁾. La evaluación de efectos biológicos y en la salud en el Perú se basó en los documentos mencionados. En los estudios revisados se ha demostrado que los efectos en la salud se dan como consecuencia de los campos y corrientes eléctricas inducidos ⁽²⁻¹⁹⁾.

La exposición a los campos eléctricos en frecuencia de red genera una carga eléctrica superficial que a su vez generará campos eléctricos y corrientes inducidas en el cuerpo humano. Por su parte, los campos magnéticos penetran en el cuerpo humano generando también campos y corrientes inducidos, los cuales son responsables de respuestas biológicas definidas, que van desde la percepción hasta las molestias, las cuales están en función de la intensidad del campo, las condiciones ambientales y la sensibilidad individual ^(3,5,7,9,14).

Un campo eléctrico no perturbado de 10 kV/m induce densidades de corrientes de 4 mA/m² cuando se promedia en la región de la cabeza o tronco; sin embargo, las densidades de corriente pico en las mismas regiones pueden exceder los 4 mA/m², dependiendo del tamaño, postura u orientación de la persona en el campo eléctrico ⁽⁹⁾.

De acuerdo con la constitución de la OMS, la salud es un estado de completo bienestar físico, mental y social y no meramente la ausencia de afecciones o enfermedades. En concordancia con este concepto ampliado de salud se considerará un efecto adverso sobre la salud cualquier efecto biológico que conduzca a enfermedades o que si bien intrínsecamente no sea patológico pero que afecte el bienestar físico, mental y social de las personas.

Efectos agudos. Los campos eléctricos y magnéticos de extremada baja frecuencia (ELF, por sus siglas en inglés) pueden afectar el sistema nervioso de las personas expuestas a ellos, resultando en consecuencias adversas para la salud tales como estimulación nerviosa para exposiciones de muy alto nivel. La exposición en niveles más bajos induce cambios en la excitabilidad neuronal en el sistema nervioso central que podrían afectar la memoria, cognición y otras funciones cerebrales, la presencia de estos efectos agudos sobre el sistema nervioso forman la base de las recomendaciones internacionales.

Sin embargo, es improbable que estos efectos ocurran para los bajos niveles de exposición en los ambientes del público en general y en la mayoría de ambientes ocupacionales. La exposición a campos eléctricos de ELF induce una carga eléctrica superficial que puede llevar a efectos perceptibles pero no peligrosos, incluyendo microchoques eléctricos

Efectos crónicos. La evidencia científica sugiere que la exposición diaria crónica de baja intensidad a campos magnéticos ELF, plantea un posible riesgo para la salud. El posible riesgo para la salud proveniente de los campos magnéticos de ELF de baja intensidad está basado en estudios epidemiológicos que demuestran un patrón consistente de incremento del riesgo de leucemia en niños. La incertidumbre en la evaluación del peligro incluye el papel del control del sesgo de selección y la clasificación equivocada de la exposición. Adicionalmente, todas las evidencias de laboratorio y las evidencias sobre los mecanismos de enfermedad han fracasado en demostrar una relación entre el campo magnético ELF de bajo nivel y cambios en la función biológica o el estado de enfermedad. Por lo tanto, en el balance, la evidencia no es lo suficientemente fuerte para ser considerada causal y por lo que los campos magnéticos de ELF permanecen clasificados como posibles carcinogénicos

También se han investigado posibles asociaciones de otras enfermedades con la exposición a campos magnéticos de ELF, entre las que se encuentran otros tipos de cáncer de niños y adultos, depresión, suicidio, disfunción reproductiva, desordenes del desarrollo, modificaciones inmunológicas, enfermedades neurológicas y del corazón. Sin embargo, las evidencias científicas de una conexión entre la exposición a los campos de ELF y cualquiera de estas enfermedades es más débil que para la leucemia de niños y en algunos casos como la enfermedad cardiovascular o cáncer de mama la evidencia es suficiente para afirmar que los campos magnéticos no causan dichas enfermedades.

NEUROCOMPORTAMIENTO

El umbral de percepción directa para el campo eléctrico externo es de 2- 20 kV/m ^(3,7,9), para molestias es de 15 -20 kV/m y para descargas dolorosas es de 5 kV/m. El umbral de campo eléctrico interno para estimulación directa de los nervios es de algunos V/m, de acuerdo con los modelos teóricos 6,15 V/m para fibras nerviosas de 20 μm y 12,3 V/m para fibras nerviosas de 10 μm ⁽²⁾ y para estimulación de la retina (aparición de electro y magneto fosfenos) es de 10-100 mV/m, con una densidad de corriente de 10 mA/m² a 20 Hz en el fluido extracelular de la retina ^(2,3,7). En el rango de densidad de corriente de 10-100 mA/m², se ha reportado efectos en los tejidos y en las funciones cognitivas.

Para la excitación del tejido cardiaco el campo eléctrico es del orden de 12 V/m y para producir fibrilación ventricular el campo debe ser del orden de 600 V/m; pero en el caso de excitación repetida el campo puede caer a valores del orden de 24 V/m ⁽²⁾. Los campos magnéticos que inducen densidades de corriente mayores a 1A/m² pueden producir excitación neural pudiéndose generar efectos biológicos irreversibles como la fibrilación ventricular, extrasístoles cardiacas, tétanos muscular y falla de la respiración ^(3,5,7).

Es probable que las personas que sufren epilepsia o tengan predisposición, sean más susceptibles a los campos eléctricos de ELF inducidos en el sistema nervioso central (SNC). Además, la sensibilidad del SNC al estímulo eléctrico está asociada probablemente con un historial familiar de convulsiones y el uso de antidepresivos tricíclicos, agentes neurolépticos y otros fármacos que reducen el umbral de convulsión ⁽⁷⁾.

En general, la evidencia de otros efectos neurocomportamentales en estudios con voluntarios, tales como los efectos en la actividad eléctrica del cerebro, la cognición, el sueño, la hipersensibilidad y el humor, son menos claras. Hay algunos indicios que parecen indicar la existencia de efectos dependientes del campo sobre el tiempo de reacción y sobre la precisión reducida en la realización de algunas funciones cognitivas, que están respaldados por los resultados de estudios sobre la actividad eléctrica general del cerebro. Algunas personas afirman que son hipersensibles a los campos electromagnéticos (CEM) en general; sin embargo, los resultados obtenidos en estudios doble ciego de provocación parecen indicar que los síntomas notificados no guardan relación con la exposición a dichos campos. Las evidencias que la exposición a campos eléctricos y magnéticos de ELF provoca síntomas depresivos o el suicidio son inconsistentes y no concluyentes ^(5,7).

SISTEMA NEUROENDOCRINO

Se ha reportado alteraciones neuroendocrinas (p. ej. supresión de la síntesis de melatonina nocturna) en respuesta a campos eléctricos inducidos menores a 10 mV/m correspondiente a densidades de corrientes inducidas de aproximadamente 2 mA/m² o menos.

Sin embargo, los estudios en voluntarios, los estudios epidemiológicos residenciales y ocupacionales y los estudios *in vitro* no muestran que los niveles séricos circulantes de melatonina liberada por la epífisis, niveles nocturnos, y de otras hipofisiarias sean afectados por la exposición a campos eléctricos y magnéticos ELF ^(3,5,7,13,14,18).

TRASTORNOS NEURODEGENERATIVOS

Los estudios realizados no muestran evidencias de asociación entre la exposición a campos de frecuencias de red y la enfermedad de Parkinson o la esclerosis múltiple. En el caso de la enfermedad de Alzheimer la evidencia es muy débil e inadecuada ^(7,17). Para la esclerosis lateral amiotrofica (ELA) hay estudios que muestran que la evidencia es substancialmente mayor en el caso de trabajadores eléctricos ⁽¹⁷⁾; pero en términos generales se considera que la evidencia es inadecuada ^(3,5,7,14).

TRASTORNOS CARDIOVASCULARES

Los estudios experimentales de exposición tanto de corta como de larga duración indican que, si bien el choque eléctrico representa un peligro evidente para la salud, las pruebas no respaldan que se produzcan otros efectos cardiovasculares peligrosos asociados con los campos de ELF a los niveles de exposición ambiental u ocupacional comúnmente encontrados ^(3,5,7,13).

REPRODUCCIÓN Y DESARROLLO

En conjunto, los estudios epidemiológicos no han demostrado que haya una asociación entre resultados adversos en la reproducción humana con la exposición materna o paterna a campos de ELF. Hay algunas evidencias de un aumento del riesgo de aborto asociado con la exposición materna a campos magnéticos, pero son insuficientes.

Se han evaluado exposiciones a campos eléctricos de ELF de hasta 150 kV/m y campos magnéticos de ELF de hasta 20 mT en varias especies de mamíferos no mostrando ningún efecto adverso en el desarrollo. En conjunto, las pruebas de efectos en el desarrollo y la reproducción son insuficientes ^(3,5,7).

INMUNOLOGÍA Y HEMATOLOGÍA

De manera global las evidencias de los efectos de los campos eléctricos o magnéticos de ELF en los sistemas inmunológico y hematológico se consideran insuficientes. Las poblaciones celulares y los marcadores funcionales del sistema hematopoyético en muchos casos no fueron afectados por la exposición a los campos ELF y en el caso de las células asesinas (NK) se produjo un aumento o disminución de la población después de la exposición mientras que para las células blancas los resultados de la exposición no produjeron ningún cambio o se verificó una disminución, es decir los resultados son inconsistentes ^(3,5,7,9).

CÁNCER

La clasificación de la IARC para los campos magnéticos de ELF es como "posiblemente carcinogénicos para los seres humanos" ⁽⁶⁾ permanece vigente a la fecha ya que los estudios posteriores al 2001 no han podido demostrar la relación causa-efecto ^(5,6,7,11,13,14).

Respecto al cáncer de mama en mujeres adultas, asociado con la exposición a campos magnéticos de ELF, los estudios en conjunto son negativos ^(3,5,7). La evidencia global de una asociación entre los campos magnéticos de ELF y el cáncer cerebral y la leucemia en adultos es insuficiente ^(3,5,7,16). Para otras enfermedades y todos los demás tipos de cáncer, las pruebas permanecen insuficientes ^(3,5,7,13).

En la actualidad no hay ningún modelo animal adecuado para la forma más frecuente de leucemia infantil, la leucemia linfoblástica aguda ni para ningún tipo de cáncer, incluyendo tumores hematopoyéticos, de mama, cerebrales y de piel ⁽²⁾. En conjunto no hay ninguna prueba que la exposición a campos magnéticos de ELF provoque por sí sola la aparición de tumores. La evidencia que la exposición a campos magnéticos de ELF puede potenciar el desarrollo de tumores en combinación con carcinógenos es inadecuada (insuficiente) ⁽¹⁶⁾.

En general, los estudios de los efectos de la exposición de células a campos de ELF no han mostrado ninguna inducción de genotoxicidad para campos por debajo de 50 mT, con la notable excepción de la evidencia obtenida en estudios recientes en los que se han descrito daños en el ADN con campos de una intensidad de apenas 35 μ T; sin embargo, estos estudios todavía están siendo evaluados y la comprensión de estos hallazgos todavía es incompleta ⁽¹⁶⁾. Los estudios sobre proliferación celular, apoptosis, señalización del calcio y transformación maligna, han dado resultados inconsistentes o no concluyentes ^(3,5,7,16).

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN PRODUCIDOS POR LAS REDES DE ENERGÍA ELÉCTRICA

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN

Distribución geográfica y cantidad de lugares de medición. Desde el año 2002 hasta la actualidad, se ha realizado varias y diversas evaluaciones de las radiaciones no ionizantes de los servicios y sistemas de energía eléctrica en el Perú a cargo del Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones (INICTEL) ⁽²⁰⁻²³⁾. Entre los años 2002 y 2003 se realizó el diagnóstico nacional preliminar de las radiaciones no ionizantes de las redes de energía eléctrica, que incluía las principales instalaciones: centrales de generación, subestaciones de transformación, líneas de transmisión y líneas de distribución con un total de 333 puntos de medición, de los cuales 251 fueron para exposición poblacional y 82 fueron para exposición laboral. En el año 2003 se realizó una evaluación de 779 puntos en la ciudad de Lima y entre el año 2004 y 2005 se realizó mediciones en un total de 241 puntos en el interior del país, por encargo del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía (OSINERG). Paralelamente a estos grandes diagnósticos se ha venido realizando por encargo mediciones para diferentes entidades y empresas las cuales han sido incorporadas a esta evaluación.

Las mediciones se llevaron a cabo a la altura de 1 m sobre el suelo. Puede haberse realizado mediciones a otras alturas cuando se consideraba necesario. El equipamiento básico utilizado estuvo compuesto por dos analizadores de campos electromagnéticos con sondas isotrópicas para campo eléctrico y magnético que trabajan en la banda de frecuencia de 5 Hz a 32 kHz, con filtros pasabanda y rechaza banda sintonizables; así como computadoras personales, GPS, cámara fotográfica digital, brújulas, altímetros y odómetros.

Para evitar interferencias o errores en la medición de campo eléctrico, el operador mantuvo una distancia mínima de 2,5 m del sensor. Durante la medición de campo magnético, el operador podía estar cerca de la sonda porque los campos magnéticos no son perturbados por el material biológico humano. Para las líneas de energía eléctrica, tomando como referencia el centro de la línea a evaluar, se realizaron al menos dos mediciones del centro de la línea hacia los costados (perfil lateral). El protocolo de medición utilizado está basado en el Protocolo IEEE 644 ⁽¹⁹⁾.

Procedimiento de medición. Una vez que se ubicó el lugar de medición, se conectó el campo magnético a la unidad principal y comenzó automáticamente la

calibración y las pruebas de verificación, Luego se llevó a cabo las mediciones rms de la densidad de flujo (B) para 60 Hz (en μT), y el campo magnético presente en el rango de 5 Hz a 32 kHz (% de las Recomendaciones ICNIRP para exposición del público en general), tomando nota de los valores máximos.

Después de finalizar las mediciones de campo magnético se conectó la sonda de campo eléctrico y se repitieron los pasos previamente mencionados. Luego se realizó las mediciones de campo eléctrico en 60 Hz (en kV/m) y para la banda de frecuencia de 5 Hz a 32 kHz (% de las Recomendaciones ICNIRP para exposición del público en general).

Durante las mediciones de campo eléctrico y magnético se recolectó la siguiente información adicional:

- (a) Coordenadas geográficas, altitud, fecha y hora;
- (b) Distancias horizontales desde la proyección de la línea a los lugares de medición;
- (c) Alturas de las líneas;
- (d) Diagramas con detalles de los lugares expuestos (bosquejo y vistas de los lugares), usando un odómetro;
- (e) Fotos del sitio de medición y del proceso;
- (f) Otra información importante.

EXPOSICIÓN POBLACIONAL

Se realizó mediciones en 1429 puntos de medición, 1284 para exposición del público en general y 145 exposición ocupacional. Los límites ICNIRP solamente fueron sobrepasados para el campo eléctrico en 22 (1,7%) lugares de exposición del público en general cercanos a líneas de 220 kV y un (0,7%) lugar de de exposición ocupacional (20-23). En la Tabla 1 se muestra los cocientes para exposición del público en general en función del voltaje de la línea.

Cerca de las líneas de alto voltaje de 220 kV el campo eléctrico máximo encontrado es de 13,42 kV, que supera

Tabla 1. Valores máximos de los campos y los cocientes de exposición para el público en general de acuerdo a las recomendaciones ICNIRP

Voltaje	Máximo campo eléctrico		Máximo campo magnético	
	kV/m	Límites ICNIRP	μT	Límites ICNIRP
10 kV	0,15	3,6 %	6,41	7,7 %
33 kV	0,80	19,2 %	1,62	1,9 %
60 kV	3,57	85,6 %	5,14	6,2 %
138 Kv	0,80	19,2 %	2,06	2,5 %
220 kV	13,42	322,6 %	8,81	10,6 %

el límite ICNIRP de campo eléctrico para exposición poblacional en 322,6%, pero estos valores corresponden al 1,7% de la muestra que básicamente consistió en zonas de alto riesgo eléctrico, para el caso de las líneas de 10 kV, las que mayoritariamente están cerca de los hogares, ninguna medición supera el límites de campo eléctrico. El máximo del campo magnético es de 8,81 μT (10,6 % de los límites ICNIRP poblacionales) es decir no se superan los límites ICNIRP.

Extrapolando estos datos, podemos decir que mucho menos del 1,7% de la población peruana estaría expuesta a campos eléctricos que superan los límites ICNIRP y 0% de la población peruana estaría expuesta a valores de campos magnéticos que superan los límites ICNIRP.

En las Figuras 1 y 2 se muestra las curvas que representa la variación del campo eléctrico en función de la distancia a las líneas de transmisión de 220kV y 60 kV. En ella se aprecia que los campos eléctricos y magnéticos decrecen rápidamente con la distancia a la línea y que su alcance dependerá básicamente del voltaje de la línea.

EXPOSICIÓN RESIDENCIAL

La mayoría de evaluaciones de la exposición realizadas en el Perú, en términos generales, han sido para exposición poblacional en exteriores; sin embargo, se tiene algunas mediciones realizadas en el interior de

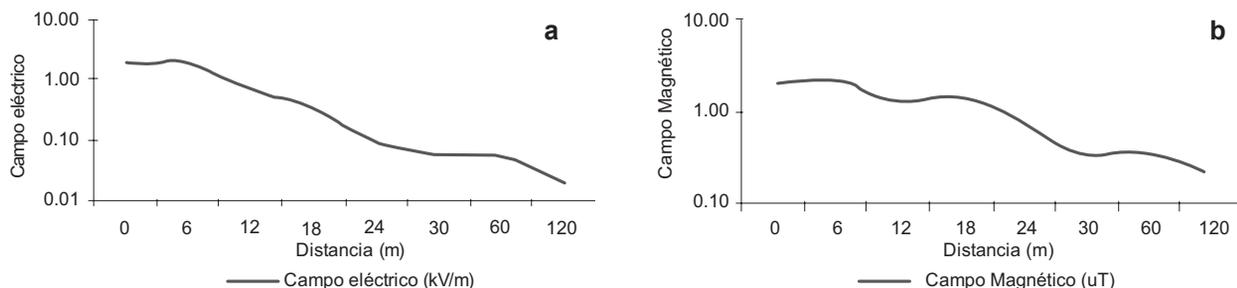


Figura 1. Variación del (a) campo eléctrico y del (b) campo magnético para líneas de 220 kV

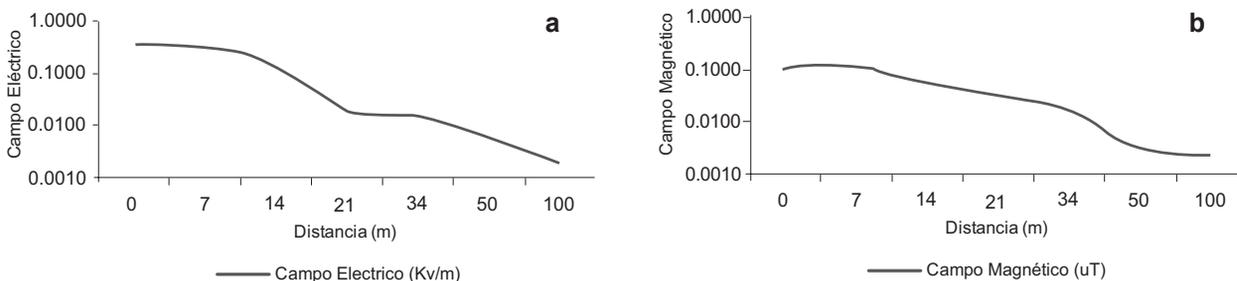


Figura 2. Variación del (a) campo eléctrico y del (b) campo magnético para líneas de 60 kV.

viviendas como en el caso de Iquitos y Pucallpa. De acuerdo con las mediciones realizadas, si se trabaja con una línea definida, el campo eléctrico en interiores generalmente es menor que el campo en exteriores; sin embargo, el campo magnético no se atenúa mayormente, pero también existe una fuerte dependencia en la distancia a la línea ^(20,22).

De acuerdo con los pocos valores medidos para exposición residencial en el Perú, se puede extrapolar que se cumple con los límites ICNIRP. Por otro lado, tomando en cuenta la medición poblacional y dado que los campos magnéticos generalmente no sufren mayor atenuación cuando entran al interior de una vivienda y asumiendo que el valor medido de la exposición debido a las líneas es relativamente constante en el tiempo, es posible que los niños expuestos a valores promedio de campo magnético mayores a 0,4 µT sean más que el promedio recomendado por OMS que es de 0,5 a 7% ⁽⁷⁾. En concordancia a las mediciones realizadas, en el Perú para las líneas de 220 kV los campos magnéticos mayores a 0,4 µT pueden encontrarse a distancias entre 80 a 120 m del centro de la línea, y para líneas de 60 kV a distancias entre 15 a 20 m

EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

Líneas de transmisión y distribución. De acuerdo con las mediciones realizadas por el INICTEL, se encontró

que debajo de las líneas de 220 kV, en algunos casos, se supera los límites máximos permisibles de campo eléctrico ⁽²¹⁾.

Subestaciones. Las subestaciones raramente producen campos eléctricos significativos fuera de sus perímetros. En el caso de subestaciones de distribución finales montadas sobre el suelo se debe a que todas las busbars y otros equipos están contenidos en gabinetes metálicos, sobre pilares o dentro de edificaciones, los cuales tienen la capacidad de blindar de los campos eléctricos. Las subestaciones de más alto voltaje no están rigurosamente encerradas dentro de gabinetes metálicos pero usualmente están rodeadas de una cerca de seguridad que también van a funcionar como un blindaje. En la Tabla 2 se muestra los valores de los campos medidos en las cercanías a subestaciones eléctricas ⁽²⁰⁾.

Centrales. Se evaluó las principales centrales hidroeléctricas y térmicas en el Perú. En la Tabla 3 se muestra los valores medidos y la evaluación de acuerdo con los límites ICNIRP ocupacionales (20,22), cerca de centrales eléctricas.

Como se aprecia, en la mayoría de los casos se cumple con los límites máximos de exposición ocupacional ICNIRP para el campo eléctrico y en la totalidad de casos para el campo magnético. En general, cuanto más alta la potencia de la estación más altos los niveles de los campos.

Tabla 2. Valores de campos eléctricos y magnéticos 60 Hz medidos en las cercanías de subestaciones de transformación en el Perú

Característica de subestación	Lugar	Campo eléctrico (kV/m)	Campo magnético (µT)
Subestación elevadora de 13,8/220 kV	Central Hidroeléctrica SAM – Huancavelica	0,940 a 1,955	1,575 a 5,266
Subestación de 10/60 kV (14-15 MVA)	Iquitos y Pucallpa	0,594 a 2,035 (lado de AT) 0,056 a 1,637 (lado de MT)	1,312 a 2,964 (lado de AT) 1,181 a 28,040 (lado de MT)
Subestación de 33/10/0,405 kV	Subestación Campo Armiño – Huancavelica	1,436	3,333
Subestación de 10/22,9 kV (3-4 MVA)	Iquitos y Cajamarca	0,006 a 0,028 (lado de AT) 0,255 (lado de MT)	0,077 a 0,340 (lado de AT) 0,117 (lado de MT)
Subestación aérea monoposte de 10/0,38 kV	Junto a INICTEL - Lima	0,014	0,199
Subestación aérea biposte de 10/0,38 kV	Pucallpa, Cajamarca, Chimbote y Trujillo	0,005 - 0,013	0,238 - 0,698

AT: alta tensión; MT: media tensión.

Tabla 3. Valores de los campos eléctricos y magnéticos medidos cerca de centrales de generación eléctrica en el Perú.

Central hidroeléctrica	Energía eléctrica (kV/m)			(µT)		
	5 Hz- 32 kHz	60 Hz	% del LOP	5 Hz- 32 kHz	60 Hz	% del LOP
Central Electro-Oriente –Iquitos (33,4 MW/10,2 kV)						
Máximo	2,035	2,035	24,518	41,140	37,280	8,876
Promedio	0,806	0,803	9,673	15,450	8,882	2,115
Central Electro-Ucayali –Pucallpa (25,4 MW Kw /10 kV)						
Máximo	3,259	3,145	39,060	13,620	12,920	3,411
Promedio	0,491	0,759	9,347	5,057	4,945	1,450
Central Restitución (210 MW/ 13,8 kV)						
Máximo	0,277	0,241	2,902	382,000	345,400	82,238
Promedio	0,238	0,184	0,220	39,640	36,090	8,590
Central Santiago Antunez de Mayolo (798 MW/13,8 kV)						
Máximo	9,003	8,928	107,566	162,300	166,500	39,643
Promedio	1,234	1,223	14,7460	16,750	16,840	4,010
Central Santa Rosa (281,3 MW/						
Promedio	0,402			0,438		

LOP: Límite ocupacional permitido según ICNIRP.

La exposición ocupacional producida por las redes de energía eléctrica predominantemente es en las frecuencias de red y sus armónicos. La exposición a campos electromagnéticos en el lugar de trabajo en el Perú va hasta un máximo de 9 kV para el campo eléctrico, lo que induce campos eléctricos en el cuerpo del trabajador, llevando a un incremento de la ocurrencia de corrientes de contacto y microchoques eléctricos. En el caso de trabajadores que labores con líneas de 220 kV en caliente, estarán sujetos a campos mayores a los límites ICNIRP ocupacionales. Para los campos magnéticos, el máximo valor medido en ambientes ocupacionales es 382 µT que está relacionado con la presencia de conductores transportando altas corrientes. Es decir, para la exposición ocupacional se supera los límites ICNIRP de campo eléctrico y, en el caso de los campos magnéticos, si bien no se supera los límites ICNIRP, los valores de exposición pueden ser mucho mayores que los encontrados para exposición poblacional.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN EXPOSICIÓN –RESPUESTA

NIVELES UMBRALES

Para la exposición aguda a los campos de ELF se ha identificado umbrales dependientes de la frecuencia para efectos sobre tejidos eléctricamente excitables, especialmente en el caso del sistema nervioso central. Estos efectos resultan de los campos eléctricos y

corrientes que son inducidos en el cuerpo debido a la exposición a campos eléctricos y magnéticos. El ICNIRP ⁽³⁾ identificó umbrales de densidades de corriente de 100 mA/m² para cambios agudos en las funciones del sistema nervioso central (SNC), cerebro y espina dorsal, localizados en la cabeza y recomendó restricciones básicas sobre la densidad de corriente inducida en estos tejidos de 10 mA/ m² para trabajadores y 2 mA/ m² para miembros del público en general. Una consideración general del tejido neural sugiere que estas restricciones deberían ser constantes entre 4 Hz y 1 kHz, subiendo para frecuencias por encima y por debajo.

Recientemente el IEEE ⁽²⁾ identificó un umbral de intensidad de campo eléctrico inducido de 53 mV/m a 20 Hz para cambios en la función cerebral en 50% de adultos saludables. Los efectos tomados en cuenta incluyen la inducción de fosfenos y otros efectos sobre las interacciones sinápticas. El IEEE recomienda restricciones básicas sobre los campos eléctricos inducidos en el cerebro de 17,7 mV/m en ambientes “controlados” y de 5,9 mV/m para miembros del público en general. Los umbrales para fosfenos se alzan por encima de 20 Hz y, por lo tanto, las restricciones básicas recomendadas por IEEE siguen una ley proporcional a la frecuencia hasta 760 Hz, por encima de esta frecuencia las restricciones están basadas en la estimulación nerviosa periférica hasta 100 kHz ⁽²⁾. El efecto neto es que las recomendaciones ICNIRP ⁽³⁾ son más restrictivas que los estándares IEEE ⁽²⁾ para frecuencias de red (50/60 Hz) y por encima. El principal factor responsable

de esta diferencia es la frecuencia de corte (20 Hz para IEEE y 1 kHz para ICNIRP), a la cual los umbrales de la intensidad de campo eléctrico y de la densidad de corrientes inducidas comienzan a crecer.

No han sido identificados umbrales para efectos crónicos.

MÉTODOS EPIDEMIOLÓGICOS

La manera más común de caracterizar la relación exposición-respuesta en epidemiología es mediante la estimación del riesgo relativo y de las razones de disparidad por unidad de exposición o través de categorías de exposición. La mayoría de estudios epidemiológicos han usado este último método.

En resumen, dos recientes análisis conjuntos de los estudios de campos magnéticos de ELF y leucemia en niños han presentado análisis dosis-respuesta^(8,16). Estos análisis han sido conducidos sobre la base de datos de categorías de exposición y exposición continua. Todos estos análisis muestran que el incremento de riesgo se hace detectable alrededor de 0,3-0,4 μ T. Para los niveles de exposición por encima de estos valores, los datos al presente no permiten un mayor análisis debido al pequeño número de casos en la categoría de alta exposición.

CONCLUSIONES

Esta primera evaluación de riesgo de salud para las radiaciones no ionizantes proveniente de los servicios de energía eléctrica se enmarca y confirma los resultados de la evaluación realizada a nivel mundial por la OMS⁽⁷⁾. En cuanto a la evaluación de la toxicidad de las radiaciones no ionizantes de los servicios de energía eléctrica, los efectos en la salud establecidos por las investigaciones realizadas tienen lugar para intensidades de campos inducidos internos mayores a 53 mV/m o densidades de corrientes inducidas mayores que 100 mA/m².

Los valores de la evaluación de la exposición poblacional realizados en Perú son tales, que solo en el caso de viviendas edificadas debajo de las líneas de servidumbre se podrían superar los límites de exposición ICNIRP poblacionales. Los valores encontrados son coherentes con los valores de exposición medidos en Australia y Bélgica^(24,25).

La evaluación de los campos electromagnéticos de los servicios de energía eléctrica en el Perú demuestra que el nivel de riesgo de salud debido a la exposición poblacional es no significativo. Sin embargo, es necesario hacer una evaluación residencial detallada con

mediciones *spot* y de largo plazo así como mediciones personales que nos den una idea más completa de la exposición.

El nivel de riesgo por exposición ocupacional puede tener valores significativos dentro de las instalaciones de centrales de generación y subestaciones de transformación eléctrica, en las cercanías de las cuales, en algunos casos, se puede superar los límites de exposición ocupacionales. Asimismo, los trabajadores que laboren con líneas de 220 kV en caliente estarán sujetos a campos que superan los límites ICNIRP poblacionales. Para el caso de los campos magnéticos los niveles en algunos casos pueden estar cerca a los límites ocupacionales ICNIRP. En términos generales se recomienda la evaluación de la exposición ocupacional caso por caso.

Se recomienda mantener actualizada la evaluación de riesgo tomado en cuenta el crecimiento de las redes instaladas y los resultados de la evaluación de salud realizada en el ámbito internacional.

Conflictos de intereses

El autor declara no tener conflictos de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Perú, Ministerio de Energía y Minas.** Indicadores de la evolución del mercado de la electricidad 1995-2007. Lima: MINEM; 2008.
2. **Institute of Electrical and Electronics Engineers.** Standard for safety levels with respect to human exposure levels to electromagnetic fields, 0-3 kHz, IEEE Standard C95.6. New York: IEEE; 2002.
3. **International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.** Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (Up to 300 GHz). Health Phys. 1998; 74(4): 494-522.
4. **International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.** ICNIRP, Response to questions and comments on ICNIRP guidelines. Health Phys. 1998; 75(4): 438-39.
5. **International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.** Exposure to static and low frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (0-100 kHz). München: ICNIRP; 2003.
6. **International Agency for Research on Cancer.** Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Volume 80 Non-ionizing radiation, Part 1: Static and extremely low-frequency (ELF) electric and magnetic field. Lyon: IARC; 2002.
7. **World Health Organization.** Environmental health criteria N° 238: Extremely low frequency fields. Madrid: WHO; 2007.
8. **Schüz J, Michaelis J.** Epidemiologische studie zur assoziación von leukämieerkrankungen bei kindern und häuslicher magnetfeldexposition. Mainz: Institut für

Medizinische Statistik und Dokumentation der Universität Mainz; 2000.

9. **Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency.** Interim guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields, Radiation Health Series N° 30. Victoria: ARPANSA; 1989.
10. **Health Canada.** Electric and magnetic fields at extremely low frequencies. Ottawa: Health Canada; 2004.
11. **Royal Society of Canada.** Report of the panel monitoring Ontario hydro's electromagnetic field risk assessment program. Ottawa: Royal Society of Canada; 2000.
12. **European Commission.** Risk evaluation of potential environmental hazards from low frequency electromagnetic field exposure using sensitive in vitro methods. Brussels: European Commission; 2004.
13. **National Institute of Environmental Health Sciences.** Health effects from exposure to power-line frequency electric and magnetic fields. North Carolina: NIEHS; 1999.
14. **Aurengo A, Clavel J, de Seze R, Guénel P, Jousset-Dubien J, Veyret B.** Champs magnétiques d'extrêmement basse fréquence et santé. Paris: Direction Générale de la Santé; 2004.
15. **Health Council of the Netherlands.** Electromagnetic fields: annual update 2001. The Hague: HCN; 2001.
16. **National Radiological Protection Board.** ELF electromagnetic fields and the risk of cancer. Chilton: NRPB; 2001.
17. **National Radiological Protection Board.** ELF electromagnetic fields and neurodegenerative diseases. Chilton: NRPB; 2001.
18. **Health Protection Agency.** Power frequency, melatonin and the risk of breast cancer. Chilton: HPA; 2006.
19. **Institute of Electrical and Electronics Engineers.** IEEE Standard procedures for measurement of power frequency electric and magnetic fields from AC power lines, IEEE Std 644. New York: IEEE; 1995.
20. **Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones.** Evaluación de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes producidas por los servicios de energía eléctrica. Lima: INICTEL; 2002.
21. **Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones.** Mediciones de campos eléctricos y magnéticos en S.A.M., R.O.N. S.E.C.A. y Villa Azul, ELECTROPERU S.A. Lima: INICTEL; 2002.
22. **Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones.** Mediciones de radiaciones electromagnéticas en zonas pobladas cercanas a líneas de transmisión eléctrica en la ciudad de Lima. Lima: INICTEL; 2003.
23. **Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones.** Evaluación de los efectos de las radiaciones electromagnéticas sobre la calidad de vida de los trabajadores y las poblaciones cercanas a líneas de transmisión y distribución eléctrica. Lima: INICTEL; 2005.
24. **Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency.** Magnetic & electric fields from power lines [página en Internet]. Victoria: ARPANSA; 2008. [citado: 10-10-08] Disponible en http://www.arpansa.gov.au/radiationprotection/factsheets/is_emf.cfm
25. **Belgian BioElectroMagnetic Group,** Valeurs des champs à la maison [página en Internet]. Brussels: BBEMG; 2007. [citado: 10-10-08] Disponible en <http://www.bbemg.ulg.ac.be/FR/cecmaison.html>

Correspondencia: Ing. Víctor M. Cruz.
 Dirección: Av. San Luis 1771, Lima 41, Perú.
 Correo electrónico: vcruz@inictel.gob.pe



Visite los contenidos de la revista en:
www.ins.gob.pe/rpmesp