

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

Víctor M. Cruz ¹

RESUMEN

Se revisa los diferentes estudios sobre los posibles efectos de las redes de telecomunicaciones sobre la salud, en dichos estudios refieren que los posibles efectos en la salud se deben al efecto térmico de las radiaciones no ionizantes que producen incrementos de temperatura corporal mayores a 1 °C. Por otro lado, se revisó los estudios de evaluación de la exposición a las radiaciones no ionizantes de las redes de telecomunicaciones realizadas en el Perú entre el 2000 al 2006 que incluyen la medición de más de 500 lugares. Los niveles promedio más altos de exposición en el Perú son producidos por los servicios de radio FM y están en el orden de 29% de los límites recomendados, mientras los producidos por de las estaciones bases de telefonía móvil son de 1,5% a nivel poblacional. Los niveles más altos de exposición se dan por los teléfonos móviles aunque siguen estando dentro de los límites permisivos. La evaluación de riesgo de las radiaciones no ionizantes de las redes de telecomunicaciones en el Perú demuestra que el riesgo para la salud de las estaciones fijas es no significativo, pero en el caso de las estaciones portátiles (celulares) el riesgo es mayor y su importancia dependerá de los resultados de las investigaciones internacionales que están en curso.

Palabras clave: Salud ambiental; Radiación no ionizante; Red de telecomunicaciones, Teléfono celular; Perú (fuente: DeCS BIREME).

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

ABSTRACT

We review the various studies on the potential impact of telecommunications networks on health, these studies relate to the possible health effects due to thermal effect of non-ionizing radiation produced greater increases in body temperature at 1 °C. Furthermore, the studies were reviewed for assessment of exposure to non-ionizing radiation of telecommunications networks in Peru from 2000 to 2006 that include the measurement of more than 500 locations. The highest average levels of exposure in Peru are produced by the FM radio and are in the order of 29% of the recommended limits, while those produced by the mobile base stations are at 1.5% population. The highest levels of exposure are given by mobile phones but still within the permissible limits. The risk assessment of non-ionizing radiation of telecommunications networks in Peru shows that the health risk of the fixed stations is not significant, but in the case of stations (cell) the risk is higher and its importance depend on the results of international investigations that are ongoing.

Key words: Environmental health; Radiation, nonionizing; Telecommunications network; Cellular phone; Peru (source: MeSH NLM).

INTRODUCCIÓN

En los últimos años los servicios de telecomunicaciones en el Perú en general, han experimentado un gran crecimiento, pero es la telefonía móvil la que ha experimentado el mayor crecimiento. De acuerdo con el Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL), en septiembre de 2008 la tasa de penetración de las comunicaciones móviles en el Perú alcanzaba el 70,2% con aproximadamente 20 millones de usuarios ⁽¹⁾, sobrepasando largamente a los usuarios de la telefonía fija. El crecimiento de las telecomunicaciones con la telefonía móvil y las redes inalámbricas a la cabeza es inexorable, constituyéndose en la práctica en el único medio para dar servicio telefónico a las zonas urbano-marginales y ciertas zonas rurales.

Paralelo a este vigoroso crecimiento algunos sectores de la población han desarrollado una seria preocupación por los posibles efectos de las radiaciones no ionizantes de los servicios de telecomunicaciones en general y de la telefonía móvil en particular.

Este artículo busca determinar de manera cualitativa el nivel de riesgo debido a las estaciones de telecomunicaciones. Para ello, por un lado se explora la toxicidad de las radiaciones no ionizantes basados en los resultados de de las revisiones más importantes desarrolladas con respecto a los efectos en la salud, especialmente las que han sido desarrollados 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

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

ionizantes de las estaciones transmisoras de los servicios de telecomunicaciones, incluyendo estaciones fijas (p. ej. estaciones bases de telefonía móvil) y portátiles (p. ej. teléfonos móviles) en el 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⁾, la *International Agency for Research on Cancer* (IARC) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) ⁽⁴⁾. También se revisó los documentos nacionales más importantes realizados por la *Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency* ⁽⁶⁾, la Dirección General de la Salud de Francia ⁽⁷⁾, la Comisión Alemana para Protección Radiológica (SSK) ⁽⁷⁾, la Comisión Europea ⁽⁸⁾, el Consejo de Salud de Holanda ^(9,10), el Grupo de Expertos Independientes en Teléfonos Móviles (IEGMP) ⁽¹¹⁾, el Consejo Nacional de Protección Radiológica (NRPB) ⁽¹²⁻¹⁵⁾ del Reino Unido, la Real Sociedad de Canadá ⁽¹⁶⁾. Finalmente se revisó información sobre los resultados publicados del estudio Interphone ⁽¹⁷⁻²⁴⁾.

Los estudios de efectos biológicos y en la salud debido a 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 más de 3200 estudios para radiofrecuencia incluyendo aproximadamente 1100 estudios sobre telefonía móvil ⁽⁴⁾. La evaluación de efectos biológicos y en la salud en el Perú se basó en los documentos mencionados.

LAS FUENTES PRINCIPALES Y LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN

La exposición externa a radiaciones no ionizantes de las estaciones de telecomunicaciones, se mide en términos del campo eléctrico (V/m), campo magnético (A/m o Teslas) y densidad de potencia (W/m²), que para campos de radiofrecuencia para regiones de campo lejano están completamente relacionados. La exposición interna para las radiofrecuencias se mide en términos de la tasa de absorción específica (SAR) (W/kg). La relación entre el campo y la tasa de absorción específica no es directa y se calcula mediante modelamiento matemático.

Las fuentes principales básicamente toman dos formas: **La radiación de las estaciones fijas que provocan exposición de cuerpo entero**, que generalmente provocan niveles de exposición relativamente pequeños. En el caso de las estaciones base, las radiaciones no ionizantes normalmente están muy por debajo de

los límites permisibles y generalmente la exposición es involuntaria. Los máximos valores de exposición producidos en ambientes poblacionales para estaciones bases de telefonía móvil son del orden de 5 V/m (1,5% de los límites ICNIRP poblacionales).

La radiación de estaciones portátiles, que tiene como elementos más importantes a los teléfonos móviles, que provocan una exposición básicamente localizada en la cabeza aunque con el uso de dispositivos de manos libres la exposición principal podría darse en otras zonas del cuerpo. Para distancias menores que 1 cm puede ser cientos de V/m ⁽¹²⁾. De acuerdo con cálculos realizados, los valores máximos del campo entre 2 y 3 cm de la cabeza fueron de 400 V/m (424,4 W/m²) para un teléfono móvil de 2W a 900 MHz y 200 V/m para 1W a 1800 MHz (106,1 W/m²) ^(6,11) y la parte de potencia absorbida por la cabeza es aproximadamente del 40% de la potencia emitida ⁽⁶⁾.

En cuanto a la exposición interna, se ha encontrado para voluntarios humanos expuestos a SAR de 4 W/kg por 15 a 20 minutos que el promedio de incremento de temperatura fue de 0,2 a 0,5 °C lo que es completamente aceptable para gente sana. Asimismo en recientes estudios con modelos de teléfonos móviles se pudo encontrar que para potencias promedio temporal de 0,25 W en la banda de 900 MHz el SAR era aproximadamente 1,6 W/kg y predecía un máximo incremento de temperatura del cerebro de 0,1 °C ^(6,11,12), pero dependerá también de la forma del tejido. En el caso de tejidos en forma de película se ha evaluado niveles de SAR de hasta 2,28 W/kg y el incremento de la temperatura llegó a 0,25 °C. Pero en experimentos realizados para personas que realizan una llamada de 30 minutos se encontró que la ausencia de propagación del calor por convección debido a la sola presencia del teléfono causa un incremento de temperatura (0,9 °C) que es mayor que el incremento de temperatura por el SAR (0,1 °C) ⁽¹²⁾.

La población expuesta esta constituida por un gran porcentaje de la población incluyendo fetos, bebés, niños, jóvenes, adultos y ancianos

EFECTOS BIOLÓGICOS Y EN LA SALUD

De los estudios realizados se ha demostrado que los efectos en la salud se dan como consecuencia del efecto térmico de las radiaciones no ionizantes que se producen cuando la tasa de absorción específica (SAR) es mayor a 4W/kg produciendo un incremento de temperatura mayor a 1 °C. El indicador más sensible que puede ser definido como efecto nocivo para la salud durante la exposición a campos electromagnéticos es el comportamiento que puede ser alterado mucho antes que aparezcan lesiones anatómicas debido a exposiciones fuertes ^(2,3,6,11-15).

EFECTOS EN EL SISTEMA NERVIOSO

De los estudios de efectos en seres humanos sobre la función cognitiva y memoria, electroencefalogramas, disturbios del sueño y potenciales relacionados con eventos, dolor de cabeza y fatiga, hipersensibilidad, efectos en la presión sanguínea y el ritmo cardíaco, se observa que la evidencia de efectos adversos para exposición de bajo nivel es no convincente e inconsistente ^(2,3,6,11-15). Los estudios del Programa de Investigación Alemán sobre Telecomunicaciones Móviles han fracasado en confirmar reportes previos de impactos relevantes a la salud sobre la calidad del sueño, la afectación de las habilidades cognitivas, o cambios en el EEG como resultado de los campos de teléfonos móviles ⁽⁷⁾.

Membrana celular. Varios estudios han demostrado que la exposición a radiofrecuencias puede afectar el transporte de los iones de calcio, sodio y potasio a través de la membrana celular, pero es extremadamente probable que sea un efecto térmico. Hay evidencia de que los campos de radiofrecuencia pueden afectar las proteínas de las membranas y cambiar el movimiento de iones a través de dichas membranas, algunos de estos efectos solamente pueden ocurrir para temperaturas muy por debajo de la temperatura normal del cuerpo o con intensidades de campo que causan calentamiento significativo. En el caso de los teléfonos móviles hay algunas evidencias que sugieren cierta influencia sobre los canales de iones y otras proteínas de la membrana de neuronas en el cerebro bajo condiciones normales, lo cual puede causar cambios sutiles en la función celular, pero se desconoce la significancia de tales efectos para la salud humana ^(6,11-15).

Flujo de calcio. Aunque el peso de la evidencia sugiere que hay efectos en la liberación de calcio del tejido cerebral para niveles no térmicos los resultados son contradictorios y algunos investigadores sugieren que esos efectos se deben a los campos modulantes de frecuencias extremadamente bajas (ELF) de alrededor de 16 Hz. Los estudios con teléfonos móviles de tecnología GSM señalan que no hay clara indicación de que hayan efectos sobre los niveles o la señalización del calcio en los linfocitos ^(6,11,16).

Excitabilidad neuronal. Hay una buena evidencia que la exposición a campos de radiofrecuencia de alta intensidad, suficiente para causar un incremento significativo en la temperatura del tejido, reduce la excitabilidad de las neuronas ^(6,11-15); mientras que la exposición a campos de radiofrecuencia de baja intensidad no produce efectos en la excitabilidad neuronal.

Sistemas neurotransmisores. La mayoría de los estudios sobre sistemas neurotransmisores se han realizado para niveles de exposición térmica, encontrándose que las respuestas son de tipo termorregulatorio u otras respuestas al cambio de temperatura ^(6,11-15).

Electroencefalograma (EEG). Los estudios de EEG en animales generalmente no han empleado condiciones que son directamente relevantes a la tecnología de teléfonos móviles y los resultados han sido mezclados ^(6,11); pero algunos experimentos en animales han producido efectos en la actividad del cerebro a niveles no térmicos de radiofrecuencia. En el caso de estudios en seres humanos hay resultados que sugieren que la exposición aguda a campos de los teléfonos móviles a niveles inferiores de los valores límites recomendados modifican ciertas funciones cerebrales y producen efectos de amplitud suficiente para modificar el comportamiento ^(6,11). Los experimentos realizados sobre EEG en seres humanos durante el sueño han reportado cambios que se encuentran dentro del rango de variación normal diario o entre individuos ^(7,9,10).

Percepción auditiva. La percepción auditiva de campos pulsantes de radiofrecuencia intensos puede dar lugar a respuestas comportamentales. Este fenómeno no ha sido explorado usando condiciones que sean directamente relevantes a la tecnología móvil, pero es improbable que ocurran a las intensidades pico de los campos pulsantes asociados con los teléfonos móviles ^(6,11). Por debajo de las restricciones básicas la actividad de las neuronas en el sistema aural de roedores no es afectada por los campos de teléfonos móviles ⁽⁷⁾.

Tiempos de reacción, memoria, rendimiento en tareas aprendidas. El incremento de temperatura de 1 °C o más, ciertamente conduce a cambios en el rendimiento de tareas bien aprendidas y otros comportamientos simples. El aprendizaje, la memoria de roedores y la reducción del rendimiento de tareas aprendidas en primates y ratas pueden ser afectados para un SAR de cuerpo entero de 2,5 a 8 W/kg, en el origen de un calentamiento de 1 °C. No hay evidencia experimental consistente que la exposición a campos de bajo nivel afecte el aprendizaje y la memoria en animales ^(2,3,6,11-15).

Se ha observado efectos de corto plazo en los tiempos de reacción, la memoria y la atención en seres humanos ^(6,11-15). Basados en los datos presentes la ocurrencia de problemas de salud sobre la memoria, tiempos de reacción y atención asociados con los teléfonos móviles es improbable y es virtualmente imposible que los bajos niveles en la vecindad de estaciones base den lugar a cambios en las funciones cognitivas ^(4,6,11-15).

Barrera hematoencefálica (BHE). Los resultados de diversas investigaciones han mostrado que se requiere campos de radiofrecuencia de alta intensidad para alterar la permeabilidad de la BHE ⁽¹⁶⁾. La evidencia disponible de un efecto de la exposición de radiofrecuencia sobre la BHE es inconsistente y contradictoria ^(6,9,11-15). Las investigaciones realizadas han fracasado en soportar un efecto repetitivo para exposición de bajo nivel y no es evidente ninguna relación exposición-respuesta o dosis-respuesta ^(2,11-16).

Melatonina. Hay algunos estudios que sugieren que la exposición a campos de teléfonos móviles mayor a 25 minutos por día puede ser asociado con una baja en el nivel de melatonina ⁽¹⁶⁾, pero hay pocos estudios realizados que en conjunto no sugieren que los campos de radiofrecuencia afecten la función de la glándula pineal o la secreción de melatonina ^(3,6,7,9,11-15).

Efectos en los ojos. Los efectos adversos en el ojo (p. ej. cataratas) para la exposición a la radiofrecuencia solamente se han asociado con incrementos de temperatura significativos. Las intensidades de los campos pulsantes de radiofrecuencia utilizadas en los estudios sobre los ojos estuvieron muy por encima del SAR y el SA proveniente del uso de los actuales teléfonos móviles. No hay evidencia de efectos oculares significativos (incluyendo cáncer) para valores debajo de 4W/kg ^(2, 6,11-15). Todos los efectos observados cayeron dentro del rango fisiológico normal ⁽⁷⁾.

Efectos en el sueño. Los resultados de varios estudios señalan que la exposición a intensidades de campos relativamente altas de los teléfonos móviles puede afectar la actividad del cerebro durante el ciclo del sueño, pero no hay razón para suponer que ello implique un peligro a la salud ^(7,11-15).

EFECTOS CANCERÍGENOS

Algunos estudios experimentales han sugerido que la radiación de radiofrecuencia de alto nivel y en algunos a niveles subtérmicos puede iniciar la formación de tumores, incrementar los efectos de conocidos cancerígenos o promover el crecimiento de tumores transplantados. Se ha planteado la hipótesis de que la exposición recurrente a la radiación de teléfonos móviles podría llevar a la expresión crónica de las proteínas de choque térmico (HSP) en el tejido cerebral de los usuarios y eso a su vez inducir o promover cáncer ⁽¹⁶⁾, pero el balance de la evidencia nos muestra que ni los experimentos *in vitro* ni los experimentos *in vivo* indican que la exposición aguda o crónica a campos de radiofrecuencia incrementan las frecuencias de mutación o aberración cromosómica cuando las temperaturas son mantenidas dentro de los límites fisiológicos. Esto sugiere que es improbable que la exposición a campos de radiofrecuencia actúe como un iniciador de tumores ^(6,11-16).

Ornitina Decarboxilasa (ODC). Hay estudios que demuestran que no hay efectos por exposición aguda a niveles térmicos sobre la actividad de la ODC que es un péptido cuyo incremento de actividad es indicador de cáncer ^(6,11-16). Los campos pulsantes de radiofrecuencia modulados de los teléfonos móviles pueden causar un ligero incremento en los niveles y actividad de la enzima ODC para exposición crónica a niveles no térmicos. En el peor de los casos estos resultados podrían sugerir un efecto promotor pero no iniciador; sin embargo, es poco probable. También es improbable que tales efectos

actúen sinérgicamente con otros agentes ambientales y contribuyan a la promoción de tumores ^(2, 3,6,11-16).

Expresión de los genes. Aunque actualmente hay una pequeña evidencia que la radiación de los teléfonos móviles causa una respuesta de estrés en células de mamíferos. Los estudios de expresión de diferentes genes involucrados en la respuesta celular a tratamientos con químicos y otros estreses son largamente negativos aunque hay estudios que dan indicación de la influencia no térmica sobre la expresión del gen ^(6,11-15).

Crecimiento, sobrevivencia o proliferación celular. En términos generales, los experimentos sobre síntesis de ADN no demuestran cambios convincentes, coherentes con la proliferación celular bajo condiciones semejantes a las emisiones de teléfonos móviles ^(2,6,11-15). Varios estudios dan resultados contradictorios o no confirmados ⁽²⁾. Se necesita un mayor estudio sobre los efectos de los campos de radiofrecuencia sobre la síntesis de del ácido nucleico ^(6,11-15).

Genotoxicidad. El balance de evidencia sugiere que a temperaturas normales (consistentes con exposiciones debajo de los límites recomendados), los campos de las estaciones base de telefonía móvil no inducen mutación de células somáticas y reproductoras ^(6,11-15).

Se ha observado rupturas de ADN en animales e *in vitro* ^(6,8,11-15) para líneas celulares sensibles a campos modulados en la banda de 800 MHz. Muchos estudios de genotoxicidad basados en la evaluación de aberraciones cromosómicas e intercambio de cromátidas hermanas han fallado en producir evidencia clara que la radiación de radiofrecuencia es genotóxica a niveles no térmicos ^(2,6,11-16). Los resultados más consistentes vienen de la observación de la formación de micronúcleos, pero no son simples de interpretar y sus implicancias sobre la salud son inciertas ^(2,6,11-15).

EFECTOS EN LOS SISTEMAS HEMATOPOYÉTICO E INMUNE

Los niveles térmicos de la exposición a radiofrecuencia tienen efectos en el sistema hematológico e inmunológico ^(2,6,11) dando lugar a respuestas estimuladoras e inhibitorias en componentes del sistema inmunológico. Se ha observado la reducción de los niveles circulantes de linfocitos, niveles incrementados de neutrófilos y alteración de las células asesinas naturales y de la función macrófaga y también se ha reportado un incremento de la respuesta de anticuerpos primarios de linfocitos B. Sin embargo, estos efectos (p. ej. cambios en la actividad y respuesta de los linfocitos) generalmente fueron transitorios, retornando a sus niveles normales cuando cesó la exposición a la radiofrecuencia ^(6,11).

No se han reportado efectos consistentes de la exposición de radiofrecuencia de bajo nivel en las

células formadoras de sangre y en las células de sangre circulantes (cambios en el número de células de la médula ósea, linfocitos o eritrocitos, o en la cantidad de hematocritos, en los parámetros hematológicos y del suero ^(2,6,11,16). Solamente en un estudio se ha observado disminución de la duración de la vida para una exposición de una hora diaria a niveles térmicos de 7 W/kg

EFFECTOS EN EL SISTEMA CARDIOVASCULAR

Se ha observado a niveles térmicos, cambios cardiovasculares con el incremento de la carga de calor como el incremento del ritmo cardíaco o la respuesta cardíaca junto con la reducción de efectos de ciertas drogas, tales como los barbitúricos cuya acción puede ser alterada por los cambios circulatorios ^(6,11).

Los estudios en animales no justifican ninguna preocupación acerca de la influencia de la radiación de radiofrecuencia a los niveles asociados con los teléfonos móviles en el corazón o la circulación. Los estudios en seres humanos no señalan ningún motivo de preocupación por los efectos de los teléfonos móviles sobre el corazón o la circulación ^(5,6,11-15). No se ha reportado efectos de la radiofrecuencia de baja potencia sobre el sistema cardiovascular ni sobre la regulación de la presión sanguínea ⁽¹⁶⁾.

EFFECTOS EN LA IMPLANTACIÓN DEL EMBRIÓN, EL DESARROLLO DEL FETO, MALFORMACIÓN, CAMBIOS POSNATALES Y FERTILIDAD

Para exposiciones a campos electromagnéticos que producen más de 1 °C de incremento, pueden ocurrir efectos adversos como retardo del crecimiento del feto, malformación en el desarrollo y cambios posnatales en el comportamiento con efectos más graves a temperaturas maternas mayores ^(2,3,6,11). La mayoría de datos en animales indican que es improbable que sean afectados la implantación del embrión y el desarrollo del feto por exposiciones que incrementen la temperatura del cuerpo en menos de 1 °C ^(2,3,6,11). No hay evidencia convincente en estudios con roedores, que la exposición a campos de radiofrecuencia a los niveles asociados con la telefonía móvil planteen un riesgo para el feto o la fertilidad masculina ^(6,11-15).

ESTUDIOS EPIDEMIOLÓGICOS SOBRE EFECTOS GENERALES EN LA SALUD

El balance de la evidencia de los estudios epidemiológicos ocupacionales no indica que la radiación de radiofrecuencia ponga en riesgo de cáncer a las personas ^(25,26). Si embargo, debido a ciertos defectos en el diseño y a su falta de casuística respecto de la telefonía móvil no se puede concluir que la ausencia de hallazgos positivos consistentes signifique que no hay un riesgo importante asociado con la telefonía móvil.

El Estudio Interphone. Es un proyecto multinacional que incluye 13 países: Australia, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Israel, Italia, Japón, Nueva Zelanda, Noruega, Suecia y el Reino Unido que se llevo a cabo usando un protocolo básico común ⁽¹⁷⁾.

El objetivo principal es evaluar si la exposición de radiofrecuencia de los teléfonos móviles está asociada con el riesgo de cáncer. Un objetivo secundario es investigar la relación entre estas enfermedades y algunos factores de riesgo potenciales ambientales y endógenos. También son estudiadas interacciones genes - ambiente para la tumoración cerebral como parte de la colaboración con el Instituto Nacional del Cáncer de los EE.UU. en estudios de cáncer cerebral. El protocolo del Estudio *Interphone* describe los procedimientos a ser seguidos por todos los países participantes ⁽¹⁷⁾; sin embargo, los estudios nacionales individuales pueden tener características específicas o un alcance mayor que el estudio internacional. Se ha realizado estudios separados para neurinoma acústico (1100 casos), glioma (2600 casos), meningioma (2300 casos) tumores de la glándula parótida (400 casos) y sus respectivos controles, siendo de lejos, el más grande estudio epidemiológico de este tipo de tumores hasta la fecha.

Actualmente algunos de los países participantes han publicado análisis nacionales de la relación entre el uso de teléfonos móviles y el riesgo específico a un tipo de tumor ⁽¹⁸⁻²³⁾. En la mayoría de estudios, los riesgos relacionados con la presencia de cáncer y haber sido alguna vez un usuario regular de teléfonos móviles estuvieron por debajo de 1,0 o con intervalos de confianza que incluían la unidad.

A pesar de lo mencionado, los datos conjuntos de los países nórdicos y parte de los datos del Reino Unido, dieron un riesgo significativamente incrementado para glioma y neurinoma acústico ⁽²⁴⁾ después de 10 años de uso regular de teléfono móvil.

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN PRODUCIDOS POR LAS ESTACIONES TRANSMISORAS FIJAS

PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN

Desde el año 2001 hasta la actualidad, se ha realizado varias y diversas evaluaciones de las radiaciones no ionizantes de los servicios de telecomunicaciones en el Perú. Entre los años 2001 y 2002 se realizó el primer diagnóstico nacional de las radiaciones no ionizantes de los servicios de telecomunicaciones en la banda de frecuencias de 50 MHz a 2 GHz, incluyendo los servicios de radio FM, televisión, troncalizado, telefonía móvil y el servicio de comunicaciones personales (PCS) en la ciudad de Lima y otras seis ciudades en el interior del país (Cuzco, Huancayo, Ica, Iquitos, Pucallpa y Trujillo),

con un total de 174 lugares de medición. En el año 2005 se desarrolló una evaluación específica para 40 estaciones base de telefonía móvil en la ciudad de Lima.

En estas evaluaciones se usó antenas tipo dipolo ajustable (25 - 520 MHz), periódica logarítmica (200 - 1000 MHz) y bocina (1 - 18 GHz), analizadores de espectros (9 kHz - 3 GHz), analizadores de campos electromagnéticos (300 kHz - 40 GHz) con dos sensores: uno para 3 kHz a 3 GHz y otro para 300 kHz a 40 GHz, computadores personales, GPS, cámaras fotográficas digitales, brújulas, altímetros y odómetros.

De acuerdo con las recomendaciones de la *International Telecommunications Union* ⁽²⁷⁾, se realizó dos tipos de medición:

- Mediciones de banda ancha que están basadas en la utilización de analizadores de campos electromagnéticos controlados por computadores portátiles;
- Mediciones de banda angosta que están basadas en el uso de dos analizadores de espectros también controlados por computadores portátiles, en conjunción con cuatro antenas diferentes de acuerdo con el rango de frecuencia por evaluar.

Tomando en cuenta los *acimuts* de los arreglos de antenas para cada sector de las estaciones base, se escogieron puntos de medición localizados a 2, 10, 20, 50 y 100 m de la base de la antena en la dirección del haz principal del arreglo de antenas, siempre que los lugares de medición a esas distancias fueran accesibles.

Las mediciones realizadas con el analizador de espectros, fueron tomadas a una altura de 2 m sobre el piso (promedio temporal). Dependiendo del valor medido se pueden realizar mediciones a lo largo de una línea vertical con tres puntos de medición localizados a 1,1 m, 1,5 m y 1,7 m sobre la superficie de referencia (promedio espacial). Para evitar interferencias o errores en la medición del campo, el operador se mantuvo a una distancia mínima de 2,5 m del sensor.

Una vez finalizadas las mediciones de banda ancha correspondientes a una estación transmisora, se escogió un punto por cada sector para realizar mediciones de banda angosta con el analizador de espectros, en los lugares donde se encontró los valores más representativos de la medición con analizador de campos electromagnéticos. Las mediciones realizadas con los analizadores de espectros tienen tres características básicas:

- (a) Las mediciones de intensidad de campo eléctrico se realizan para cada banda de frecuencia de los principales servicios de telecomunicaciones;
- (b) Las mediciones se realizan para tres polarizaciones (x, y, z) a 2 m de altura sobre el piso;

(c) El tiempo de promediación es seis minutos en cada polarización.

Una vez que fue localizado el punto de medición para el analizador de campo electromagnético, se conectó la sonda de campo eléctrico a la unidad principal que automáticamente inicio la calibración y las pruebas de verificación. Luego se llevó a cabo mediciones del campo eléctrico total a las distancias ya establecidas, expresadas en porcentaje de las recomendaciones ICNIRP 98 y en V/m. Los valores fueron almacenados en una base de datos en la computadora portátil.

Asimismo, se registró las coordenadas geográficas, altitud, fecha y hora, el diagrama con detalles de los lugares expuestos (gráfico y vistas de los lugares), fotos del sitio de medición y del proceso. Después de finalizar las mediciones con el analizador de campos electromagnéticos se escogió los lugares para las mediciones con el analizador de espectros.

EXPOSICIÓN POBLACIONAL POR ESTACIONES BASE

Mediciones de banda ancha. En el diagnóstico general fueron evaluados los principales servicios de telecomunicaciones : TV VHF (54-216 MHz), FM (88-108 MHz), TV UHF (470-805 MHz), troncalizado (851-869 MHz), telefonía móvil (869-891 MHz) y (880-890 MHz) y servicios de comunicaciones personales (1930-1945 MHz). De una muestra total de 174 lugares de medición, solo nueve (5,2%) ubicados en el cerro Morro Solar tenían valores por encima de los límites máximos de exposición poblacional (ICNIRP) ⁽²⁸⁾.

De las mediciones específicas de estaciones base se mostró que la exposición más alta fue 1,5 % de los límites ICNIRP para el público en general.

En un sondeo de estaciones base en la ciudad de Lima, se encontró que el nivel más alto en las cercanías de las estaciones bases fue 2,9% para mediciones en banda ancha; sin embargo, ese nivel era la combinación de varias señales de diferentes servicios en el cual el mayor aporte era de señales de radio FM. En la Figura 1 se puede observar la variación típica de campos electromagnéticos en las cercanías de estaciones base hasta distancias de 20 m (Figura 1a) y a distancias relativamente más grandes (Figura 1b) ⁽²⁹⁾.

Mediciones de banda angosta. Para cada punto de medición se realizó mediciones de banda angosta que permitieron determinar cual es el aporte a la exposición de los diferentes servicios, para el diagnóstico general la Figura 2 presenta los cocientes de exposición para los diferentes servicios ⁽²⁸⁾, para la evaluación de estaciones base la Figura 3 muestra la contribución de los diferentes servicios en la vecindad de las estaciones ⁽²⁹⁾.

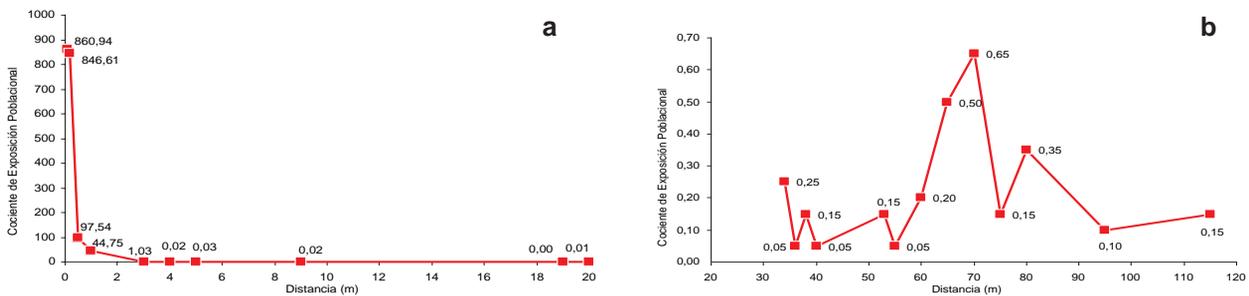


Figura 1. Variación típica del cociente de la exposición del público en general ICNIRP para distancias menores (a) y (b) mayores que 20 m.

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 dentro de viviendas con antenas distribuidas en las paredes de apartamentos o debajo de antenas sobre pequeñas torres ubicadas en el techo. De acuerdo con las mediciones realizadas por el INICTEL-UNI (30) los valores encontrados en el interior de las residencias varían fuertemente cuando se desplaza o cuando se mueve alrededor de la antena de medición. Estas variaciones son debido a las reflexiones en los muros, en los pisos y los techos o sobre todo objeto próximo a la antena de recepción del medidor, siendo las relaciones de la potencia máxima a la mínima del orden de 20 dB y entre puntos a distancias de algunos centímetros.

De acuerdo con lo mencionado a la hora de la medición es necesario realizar desplazamientos para ubicar la señal máxima y por otro lado se debe hacer la promediación espacial. Los valores máximos debidos a los servicios de telefonía móvil encontrados van de 0,001 a 0,002 % de los límites de exposición ICNIRP para el público en general, que son valores mucho menores que los observados para la exposición promedio en exteriores (31). Estos valores tan pequeños se deben a la directividad de la antena y a la atenuación de la onda electromagnética debido al techo y las paredes de ladrillo y concreto.

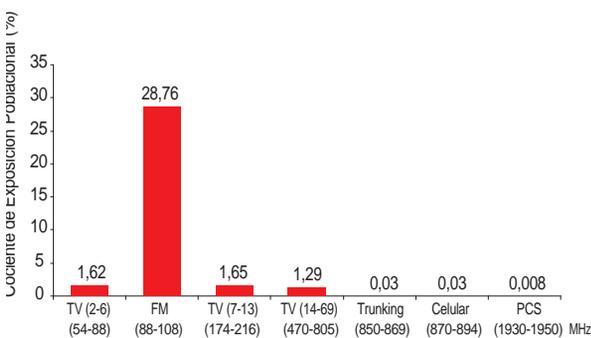


Figura 2. Promedio del cociente de exposición para el público en general por servicio.

EXPOSICIÓN OCUPACIONAL

De acuerdo con las mediciones realizadas por el INICTEL-UNI, se encontró que en las cercanías de las antenas de telefonía móvil, hasta un metro, los niveles son mayores que los límites de exposición del público en general en todos los puntos y en algunos puntos son mayores que el límite de exposición ocupacional (29).

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE EXPOSICIÓN PRODUCIDOS POR ESTACIONES PORTÁTILES (TELÉFONOS MÓVILES)

Los teléfonos móviles conforman el grupo más importante de estaciones portátiles, es por ello que la evaluación de estaciones portátiles se ha limitado a la evaluación de teléfonos móviles.

Utilizando el listado de equipos homologados del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se definió la lista de teléfonos móviles utilizados en el Perú que totalizan 367 y haciendo uso de información de páginas web internacionales como <http://www.sarvalues.com> y <http://www.mmfa.org>, entre otras se consiguió los valores de la tasa de absorción específica (SAR) de los teléfonos móviles utilizados en el Perú y se calculó el cociente de exposición para un total de 205 teléfonos móviles.

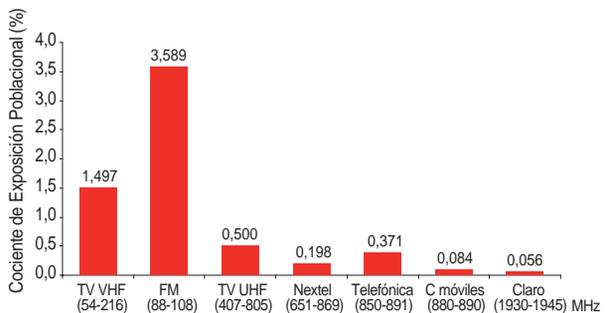


Figura 3. Contribución promedio del cociente de exposición para el público en general por servicio en las cercanías de estaciones bases en la ciudad de Lima

Tabla 1. Los diez teléfonos móviles con SAR más alto en el Perú.

Marca	Modelo	SAR	Cociente de Exposición (%)
Motorola	C332T	1,58	79,0
Motorola	C333	1,58	79,0
Motorola	C331	1,51	75,5
Ericsson	T28z	1,49	74,5
Kyocera	SE44	1,49	74,5
Sony	T206	1,48	74,0
Motorola	T182c	1,47	73,5
Samsung	SCH- A655	1,47	73,5
Audiovox	CDM-9100	1,46	73,5
Motorola	I305e	1,46	73,0

Del análisis realizado, los niveles de exposición máximos provocados por los teléfonos móviles son mucho mayores que los de las estaciones base; sin embargo, todos los teléfonos móviles autorizados para ser utilizados en el Perú cumplen con los límites máximos permisibles para el SAR especificado por ICNIRP. Es conveniente resaltar que los cocientes de exposición listados son los máximos obtenibles del equipo; sin embargo, para establecer un enlace muchas veces solo es necesario una muy pequeña parte del máximo pues el teléfono móvil esta diseñado para trabajar con la potencia mínima necesaria para alcanzar la red móvil ⁽³³⁾.

EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN EXPOSICIÓN – RESPUESTA

NIVELES UMBRAL

La evaluación de la exposición respuesta puede ser una relación continua con la exposición y para otros casos puede existir un umbral. Para la determinación de estos umbrales puede haber un grado de imprecisión en la determinación de estos umbrales, reflejado parcialmente en los factores de seguridad que son considerados para derivar los límites de exposición.

Se ha identificado el umbral de la tasa de absorción específica (SAR) para efectos agudos sobre la salud debido a la exposición a campos electromagnéticos como son los efectos de tipo comportamental, así como otros efectos que se pueden producir cuando ocurren incrementos de la temperatura corporal mayores a 1 °C, incluyendo en los casos campos muy intensos con lesiones en los tejidos. Estos umbrales son aplicables a la radiación de la telefonía móvil.

MÉTODOS EPIDEMIOLÓGICOS

La forma más común de caracterizar la relación exposición-respuesta en epidemiología es mediante la razón de proporciones por unidad de exposición o a través de categorías de exposición. En el caso de estaciones portátiles, a la fecha hay algunos estudios

que muestran un incremento de riesgo para usuarios regulares de teléfonos móviles por más de 10 años ⁽²⁴⁾; sin embargo, los estudios publicados a la fecha no señalan una asociación exposición-respuesta ^(18-23,25,26). Por lo que será necesario esperar los resultados del proyecto *Interphone* o algunos otros estudios en el futuro.

CARACTERIZACIÓN DEL RIESGO

Varias organizaciones internacionales como el caso de ICNIRP e IEEE han propuesto límites basados en los efectos agudos relacionados al efecto térmico. Las recomendaciones ICNIRP actuales para campos electromagnéticos de telefonía móvil son del orden de los 40 V/m (4,2 W/m²) para las banda de 800 y 900 MHz y 57 V/m (8,6 W/m²) para las bandas de 1800 y 1900 MHz para exposición del público en general. Para trabajadores los límites recomendados son de 88 V/m (20,5 W/m²) para las bandas de 800 y 900 MHz y de 132 V/m (46,3 W/m²) para las bandas de 1800 y 1900 MHz. En el caso de IEEE los valores para exposición poblacional prácticamente son los mismos, mientras para exposición laboral los niveles ICNIRP son más restrictivos.

Tal como se ha mostrado en la evaluación de los efectos biológicos y en la salud de las radiaciones de las telecomunicaciones y de la telefonía móvil, no hay efecto establecido para niveles no térmicos (valores de SAR < 4W/kg), por otro lado, de los resultados de la evaluación de los niveles de exposición en el caso de la mayoría de estaciones transmisoras de radio y TV, se demuestra que en promedio, los niveles están por debajo de los límites máximos de exposición y en el caso de las estaciones base los niveles máximos de exposición encontrados son muy bajos indicando que dicha exposición esta muy por debajo de los niveles térmicos, por lo que cualitativamente se podría decir que el nivel de riesgo es no significativo.

En el caso de los teléfonos móviles, los niveles de exposición encontrados en la evaluación son mucho mayores que los producidos por estaciones base, aunque sin sobrepasar los límites máximos de exposición, lo que por un lado podría implicar inclusive la existencia de efectos a nivel subtérmico y por otro lado si bien el peso de la evidencia científica no señala la existencia de efectos no térmicos, algunos estudios epidemiológicos señalan ciertos incrementos de riesgo que deberán ser materia de mayor investigación, indicando que en este caso el nivel de riesgo es mayor.

CONCLUSIONES

Esta primera evaluación de riesgo de salud para las radiaciones no ionizantes proveniente de los servicios de telecomunicaciones en el Perú, confirma los

resultados de la evaluación realizada para los servicios de telefonía móvil ⁽³²⁾. En cuanto a la evaluación de la toxicidad de las radiaciones no ionizantes de los servicios de telecomunicaciones, los efectos en la salud establecidos por las investigaciones realizadas tienen lugar para niveles térmicos, es decir para una tasa de absorción específica mayor a 4 W/kg.

Los valores de la evaluación de la exposición poblacional realizados en Perú son coherentes con los valores de exposición medidos en Australia, Bélgica e Inglaterra ⁽³³⁻³⁶⁾. En el caso de la exposición en interiores, la evaluación peruana da valores parecidos a los valores evaluados en Bélgica ^(34,35). Los valores obtenidos para exposición ocupacional también son coherentes con los valores medidos en Bélgica e Inglaterra ⁽³⁴⁻³⁶⁾.

La evaluación de los campos electromagnéticos de los servicios de telecomunicaciones en el Perú demuestra que el nivel de riesgo de salud debido a la exposición poblacional es no significativo. El nivel de riesgo por exposición ocupacional puede tener valores significativos, debido a que la exposición ocupacional de las estaciones base de telefonía móvil puede superar el límite máximo de exposición ocupacional en las cercanías de las antenas. Extrapolando estos resultados para las estaciones de radiodifusión que manejan potencias mucho mayores que la telefonía móvil, la exposición ocupacional para la radiodifusión normalmente será mayor que la exposición provocada por estaciones base y en la mayoría de casos deberían evaluarse como exposición poblacional por que se trata de trabajadores que no han recibido entrenamiento.

El nivel de riesgo producido por estaciones portátiles (teléfonos móviles) de telecomunicaciones es mucho mayor que el de las estaciones fijas, pues las estaciones portátiles producen niveles de exposición mayores a los producidos por las estaciones fijas pudiendo llegar casi a 80%. En general, en el Perú en el caso de las estaciones portátiles, hay cumplimiento de los límites máximos de exposición internacionales pero para evaluar en forma más aproximada el riesgo es necesario esperar los resultados de los estudios que están en curso como el estudio *Interpone*.

Se recomienda mantener actualizada la evaluación de riesgo tomado en cuenta el crecimiento de redes, las nuevas tecnologías emergentes de telecomunicaciones y los resultados de la evaluación de salud realizada en el ámbito internacional.

Conflictos de intereses

El autor declara no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones.** Información estadística de telecomunicaciones [página en Internet]. Lima: Osiptel; 2008. [citado: 15-02-09] Disponible en: <http://www.osiptel.gob.pe/Index.ASP?T=P&P=2635>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers.** IEEE C95.1 Standard for safety levels with respect to human exposure levels to radio frequency electromagnetic fields, 3 kHz to 300 GHz. New York: IEEE; 2006.
- 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.
- World Health Organization.** Electromagnetic Fields [página en Internet]. Geneva: WHO; 2008. [citado: 15-02-09] Disponible en: <http://www.who.int/peh-emf/en/>
- Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency.** Maximum exposure levels to radiofrequency fields -3 kHz to 300 GHz. Victoria: ARPANSA; 2002.
- Zmirou D, Abineau P, Bardou A, Dixsaut G, Goldberg M, de Seze, et al.** Les téléphones mobiles, leur stations de base et santé. Etat des connaissances et recommandations. Paris: Direction Général de la Santé ;2001.
- Strahlenschutzkommission (SSK).** German mobile telecommunication research program. Bonn: SSK; 2008.
- European Commission.** Risk evaluation of potential environmental hazards from low frequency electromagnetic field exposure using sensitive in vitro methods. Brussels: European Commission; 2004.
- Health Council of the Netherlands.** GSM Base Stations, Publication N° 2000/16E. The Hague: HCN; 2000.
- Health Council of the Netherlands.** Mobile telephones: an evaluation of health effects, Publication N° 2002/01E. The Hague: HCN; 2002.
- Independent Expert Group on Mobile Phones.** Mobile phones and health. Report of an independent group on mobile phones. Chilton: NRPB; 2000.
- National Radiological Protection Board.** Health effects from radiofrequency electromagnetic fields: Report of an independent advisory group on non-ionizing radiation. Chilton: NRPB; 2003.
- Zienkewicz ZJ, Kowalczyk CI.** Summary of recent reports on mobile phones and health (2000-2004). Chilton: NRPB; 2005.
- McKinlay AF, Allen SG, Cox R, Dimbylow PJ, Mann SM, Muirhead CR, et al.** Review of the scientific evidence for limiting exposure to electromagnetic fields (0 - 300 GHz). Chilton: NRPB; 2004.
- National Radiological Protection Board.** Mobile phones and health. Report by the board of NRPB. Chilton: NRPB; 2004.
- Krewski D, Byus CV, Glickman BW, Habash RW, Habbick B, Lotz WG, et al.** Recent advances in research on radiofrequency fields and health: 2001-2003. Ottawa: Royal Society of Canada; 2004.
- Cardis E, Richardson L, Deltour I, Armstrong B, Feychting M, Johansen C, et al.** The INTERPHONE study: design, epidemiological methods, and description of the study population. Eur J Epidemiol. 2007; 22(9): 647-64.

18. **Berg G, Spallek J, Schüz J, Schlehofer B, Böhler E, Schlaefer K, et al.** Occupational exposure to radio frequency/microwave radiation and the risk of brain tumors: Interphone Study Group, Germany. *Am J Epidemiol.* 2006; 164(6): 538-48.
19. **Schlehofer B, Schlaefer K, Blettner M, Berg G, Böhler E, Hettinger I, et al.** Environmental risk factors for sporadic acoustic neuroma (Interphone Study Group, Germany). *Eur J Cancer.* 2007; 43(11): 1741-47.
20. **Schüz J, Böhler E, Berg G, Schlehofer B, Hettinger I, Schlaefer K, et al.** Cellular phones, cordless phones, and the risks of glioma and meningioma (Interphone Study Group, Germany). *Am J Epidemiol.* 2006; 163(8): 512-20.
21. **Sadetzki S, Chetrit A, Jarus-Hakak A, Cardis E, Deutch Y, Duvevani S, et al.** Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors – a nationwide case-control study. *Am J Epidemiol.* 2008; 167(4): 457-67.
22. **Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M, Swedish Interphone Study Group.** Long-term mobile phone use and brain tumor risk. *Am J Epidemiol.* 2005; 161(8): 526-35.
23. **Takebayashi T, Akiba S, Kikuchi Y, Taki M, Wake K, Watanabe S, et al.** Mobile phone use and acoustic neuroma risk in Japan. *Occup Environ Med.* 2006; 63(12): 802-7.
24. **Schoemaker MJ, Swedlow AJ, Ahlbom A, Auvinen A, Blaasaas KG, Cardis E, et al.** Mobile phone use and risk of acoustic neuroma: results of the Interphone case-control study in five North European countries. *Br J Cancer.* 2005; 93(7): 842-48.
25. **Kundi M.** The controversy about a possible relationship between mobile phone use and cancer. *Environ Health Perspect.* 2009; 117(3): 316-24.
26. **Rothman KJ.** Epidemiological evidence on health risk of cellular telephones. *Lancet.* 2000; 356: 1837-40.
27. **International Telecommunications Union.** Guidance on complying with limits for human exposure to electromagnetic fields, Recommendation K.52. Geneva: UIT; 2004.
28. **Cruz V.** Diagnóstico nacional de las radiaciones no ionizantes de los servicios de telecomunicaciones [Tesis de Maestría], Lima: Universidad Ricardo Palma; 2002.
29. **Cruz V.** Mediciones y evaluación de las radiaciones no ionizantes de 40 estaciones bases de los servicios de comunicaciones móviles en la ciudad de Lima. Lima: INICTEL-UNI; 2005.
30. **Universidad Nacional de Ingeniería (INICTEL-UNI).** Mediciones de los niveles de exposición a las radiaciones no ionizantes en Miraflores. Lima: INICTEL-UNI, 2005.
31. **Cruz V.** Las redes de telefonía móvil y la salud de las personas. Lima: CONCYTEC; 2006.
32. **Cruz V.** Evaluación del riesgo de los campos electromagnéticos de la telefonía móvil. *ECIPeru.* 2005; 2(1): 42-45.
33. **Per L, Cornelius WA, Bangay MJ, Grollo M.** Levels of radiofrequency radiation from GSM telephone base stations. Victoria: ARPANSA; 2000.
34. **Pirard W.** Champs electromagnetiques á proximite des antennes-relais de mobilophonie. Lieja: Institut Scientifique de Service Public; 2000.
35. **Pirard W.** Champs electromagnetiques et telephonie mobile. Lieja: Institut Scientifique de Service Public; 2003.
36. **Mann SM, Cooper TG, Allen SG, Blackwell RP, Lowe AJ.** Exposure to radio waves near mobile phone base stations. Chilton: NRBR; 2001.

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

**Consulte las ediciones anteriores de la
Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública
en WWW.SCIELO.ORG.PE**

