

INFORMÁTICA Y CONOCIMIENTO

TELECOMUNICACIONES Y SALUD

Luz Stella Torres Acevedo

Estudiante tercer semestre de maestría en Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.

* *Correspondencia: letorresa@unal.edu.co.*

Resumen

El avance tecnológico en el área de las telecomunicaciones ha inundado el ambiente de radiaciones de radiofrecuencia. La física de las ondas electromagnéticas muestra la existencia de dos tipos de radiaciones, dependiendo de su frecuencia o mejor de la energía fotónica asociada; estas son: radiación ionizante y radiación no ionizante. Aunque la radiación proveniente de sistemas de telecomunicaciones pertenece a la radiación no ionizante, existe el miedo a los daños a la salud humana debido a la exposición a este tipo de radiaciones, las investigaciones en torno al tema han sido muy amplias y de resultados muy diversos, dificultando la obtención de conclusiones generales, sin embargo en muchos países ya están tomando medidas para mantener controlados los niveles de radiación.

Palabras claves. Radiación Ionizante, radiación no ionizante, radiofrecuencia, radiación.

Summary

Technological advance in telecommunications has flooded the atmosphere of radiofrequency

radiations. The physics of the electromagnetic waves sample the existence of two types of radiations, depending on its frequency or better of the photonic energy associated; radiation ionizing and radiation non ionizing. Although the radiation coming from systems of telecommunications belongs to radiation non ionizing, the fear exists to the damages to the human health due to the exhibition to this type of radiations, the investigations around the topic have been very wide, and at the same time with very diverse results, hindering the obtaining of general conclusions, however in many countries around the world are already taking measures to maintain controlled the radiation levels.

Key Words. Radiation Ionizing, radiation non ionizing, radiofrequency, radiation, epidemiologic studies.

Introducción

El creciente desarrollo de la industria de las telecomunicaciones en especial de las comunicaciones inalámbricas, ha provocado que los campos electromagnéticos se extiendan sobre grandes áreas, creando preocupación en toda

la población, en torno a las posibles consecuencias que estos pueden traer a la salud humana. Al rededor del mundo se han desarrollado estudios científicos con muy diversos resultados; en algunos se obtiene como conclusión la confirmación de la nocividad de los campos y en otros la inocuidad de los mismos. Lo cierto es que no se ha dicho la última palabra respecto al tema, sin embargo, a manera preventiva los gobiernos de casi todos los países han generado reglamentaciones que permiten mantener de alguna manera controlados los niveles de radiación asociado con servicios de telecomunicaciones (1-6).

Antecedentes

El interés de la población con respecto a las consecuencias que traen las radiaciones de radiofrecuencia (RF), se inició cuando David Reynard, en 1993 (7), estableció una demanda contra la NEC Corporation, fabricante de teléfonos celulares, argumentando que el tumor cerebral de su esposa había sido causado por las radiaciones electromagnéticas emitidas por su teléfono celular. Después de un litigio largo, finalmente la demanda fue desestimada en los tribunales por falta de evidencias. A partir de esta demanda se produjo un incremento en el número de investigaciones relacionadas con este tema.

Estas investigaciones no han proporcionado ninguna evidencia consistente, que compruebe que las radiación RF en las intensidades asociadas a las comunicaciones inalámbricas generen actividad biológica y menos algún tipo de actividad biológica que sugiriesen que estas RF pudieran causar o contribuir con el desarrollo del cáncer, lo único que se ha podido probar hasta el momento, ha sido el incremento de la temperatura superficial del cuerpo.

Sin embargo, la realidad es que vivimos sumer-

gidos en un mar de ondas electromagnéticas, donde la contribución de las telecomunicaciones no es, ni mucho menos, la más importante, pero si tal vez la que más rápidamente se ha introducido en el medio ambiente.

Física de las radiaciones

Para entender la naturaleza de las radiaciones electromagnéticas es necesario conocer de manera muy breve los conceptos físicos asociados a radiaciones electromagnéticas.

Definición campo electromagnético

El movimiento de cargas eléctricas en un metal conductor origina ondas de campos eléctrico y magnético, denominadas ondas electromagnéticas, que se propagan en el espacio vacío a la velocidad de luz, como se muestra en la figura 1.

Cuando en una región del espacio existe una energía electromagnética, se dice que en esta región del espacio hay un campo electromagnético y este campo se describe en términos de la intensidad de campo eléctrico (E) o la inducción magnética o densidad de flujo magnético (B) en esa posición.

Al igual que cualquier otro fenómeno ondulatorio, la radiación electromagnética se puede caracterizar por su longitud de onda y su frecuencia. La longitud de onda es la distancia que existe entre los puntos correspondientes a un ciclo completo de la onda electromagnética, tal como se muestra en la figura 1. La frecuencia es el número de ondas electromagnéticas que pasan por un punto en un segundo. La unidad de la frecuencia es el Hertz (Hz) y es igual a un ciclo por segundo. La frecuencia y la longitud de onda están inversamente relacionadas así $\lambda = c/f$, donde c es constante y corresponde a la velocidad de la luz, esto significa que a

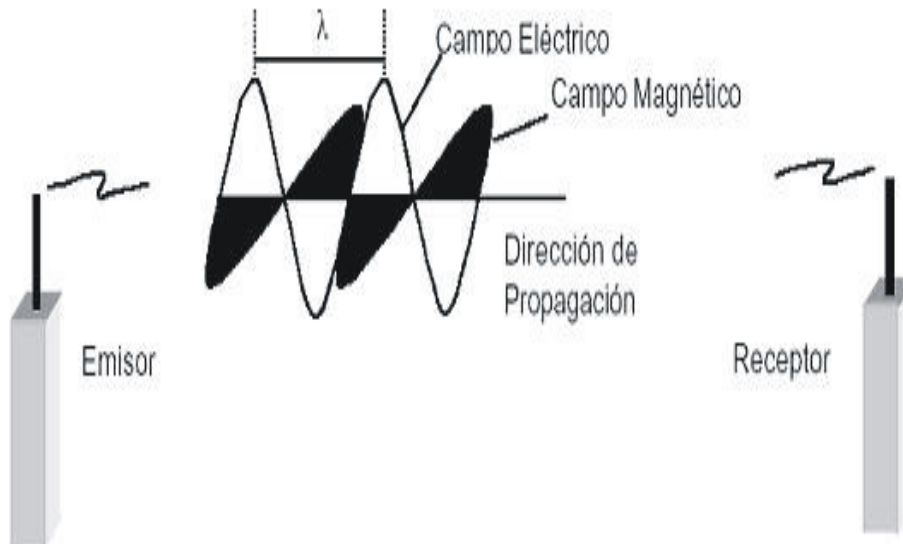


Figura 1. El emisor emite ondas electromagnéticas que se propagan hasta el receptor.

mayor frecuencia menor longitud de onda.

Algunos fenómenos electromagnéticos pueden asociar ondas electromagnéticas a partículas elementales o fotones, a esta propiedad física se le denomina dualidad “onda-partícula”. La energía asociada a un fotón, depende de su frecuencia. Cuanto mayor es la frecuencia de una onda electromagnética mayor es la energía del fotón asociado a ella. Esta relación es de suma importancia para la interacción de las ondas electromagnéticas con los seres vivos.

En el estudio de los efectos biológicos de las ondas electromagnéticas es importante distinguir dos rangos de radiaciones: ionizantes y no ionizantes. Fundamentalmente estas se diferencian en la capacidad de inducir ionización en un organismo vivo; la ionización, es un fenómeno físico en el cual los electrones son desplazados de los átomos y moléculas, mediante la ruptura de enlaces atómicos que mantienen unidas las moléculas en la célula y puede generar daños en las mismas. Para lograr la ionización de una molécula es necesario una energía fotónica alta, como la asociada a radiaciones

ionizantes. Dentro de este tipo de radiaciones encontramos los rayos-X y Gamma.

Las radiaciones no ionizantes comprenden la porción del espectro electromagnético (Figura 2), cuya energía no es capaz de romper las uniones atómicas, aún cuando sean de alta intensidad, no pueden causar ionización en un sistema biológico. Sin embargo, se ha comprobado que esas radiaciones producen otros efectos biológicos, como por ejemplo calentamiento, alteración de las reacciones químicas o inducción de corrientes eléctricas en los tejidos y las células. Dentro de este tipo de radiaciones se clasifican las radiaciones producidas por los sistemas de telecomunicaciones.

Efectos biológicos de las radiaciones electromagnéticas

Un efecto biológico se produce cuando la exposición a radiaciones provoca una respuesta fisiológica detectable en un sistema biológico. Un efecto biológico es nocivo cuando sobrepasa las posibilidades de compensación normales del organismo.

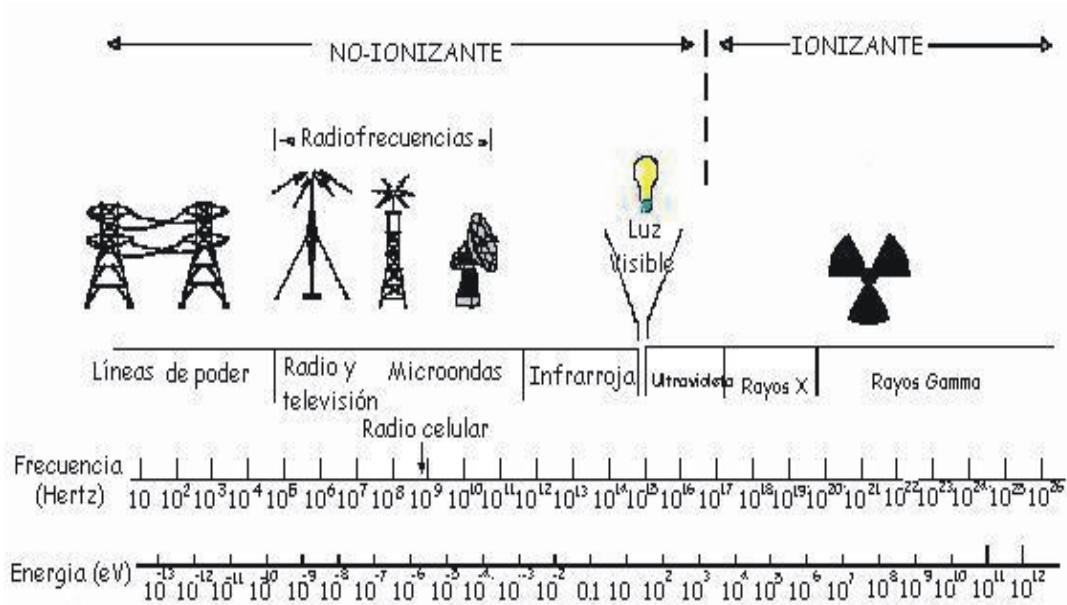


Figura 2. Espectro electromagnético

Cuando un sistema biológico es sensible a un campo electromagnético de una determinada frecuencia, la exposición puede generar cambios funcionales o incluso estructurales en un sistema. Estas modificaciones en condiciones normales son reversibles en el tiempo, para que las modificaciones sean perjudiciales es necesario que una vez terminado el estímulo las modificaciones ocasionadas prevalezcan y degeneren en daños permanentes a la salud.

Básicamente los efectos biológicos asociados a radiaciones electromagnéticas de radiofrecuencia son dos: efectos térmicos y efectos no térmicos. Los efectos térmicos, como su nombre lo indica, están asociados a cambios en la temperatura de los organismos, incremento de la misma. Los organismos biológicos reaccionan al incremento de temperatura, aumentando el flujo sanguíneo y la transpiración para compensar, los riesgos se presentan cuando el organismo no es capaz de

mantener el control de la temperatura, claro está que para que esto ocurra se necesitan valores significativos de energía.

Por otro lado están los efectos no térmicos, dichos efectos se refieren a cambios biológicos no asociados a temperatura sino a cambios estructurales en organismos vivos, este ha sido el punto más controvertido acerca de la nocividad de las radiaciones asociadas a fuentes de telecomunicaciones y es el punto central de la mayoría de investigaciones científicas.

Estudios científicos

Estudios Experimentales

Los estudios experimentales se han desarrollado en dos campos “*in vitro*” e “*in vivo*”. *In vitro* se basan en la observación de células aisladas o tejidos. En estos estudios es más fácil la interpretación de los resultados ya que

las condiciones medioambientales están controladas pero la dificultad radica en la extrapolación de los resultados hacia los riesgos a la salud humana. *In vivo* se refiere a experimentos en los cuales se radia directamente animales vivos, roedores y primates, en especial.

Riesgos biológicos

Efectos sobre el sistema nervioso

La literatura que se encuentra de los estudios experimentales referentes a este ítem es muy amplia (4, 8, 9) Los estudios desarrollados se han concentrado en los efectos nocivos a la memoria y el aprendizaje, en este campo se han desarrollado experimentos con primates, que pueden servir como modelo de las funciones cognitivas humanas (10, 11).

Se ha podido comprobar en roedores que incrementos de la temperatura interna de 1°C producen alteraciones en el desarrollo de tareas bien aprendidas e incluso en las más simples. Sin embargo estas conclusiones se rechazan teniendo en cuenta la diferencia morfológica de humanos y roedores, además en condiciones de radiaciones normalizadas este incremento no se presenta, sin embargo estudios realizados por Lai y sus colaboradores argumentan la presencia de problemas de aprendizaje y memoria a valores de SAR menores a 1 W/Kg.

Efectos genotóxicos

Se puede afirmar que en su conjunto los estudios *in vivo* realizados no presentan evidencias convincentes de la genotoxicidad de la radiación RF. Los estudios son bastante contradictorios Repacholi et al. (12) encontraron promoción de linfomas en roedores propensos al linfoma

y Szmigielski et al. (13), observaron tumores epiteliales y mamarios. Por el contrario, los estudios de Toler et al (14-16), Frei et al (17), y Jauchem et al (18) no encontraron actividad promotora de tumores mamarios.

En resumen, los estudios realizados hasta el momento no proporcionan evidencia del carácter genotóxico de las radiaciones RF en niveles de exposición que no impliquen efectos térmicos, a intensidades con efectos térmicos sí se encuentra evidencia de genotoxicidad pero esto ya era conocido y existe evidencia independiente de que la hipertermia del cuerpo completo ejerce una acción genotóxica (19, 20).

Estudios epidemiológicos

Tal como en los estudios experimentales no hay evidencias concluyentes y los diversos estudios son contradictorios. Uno de los ítems más significativos para evaluar la fiabilidad de los resultados de un estudio epidemiológico es la calidad de la evaluación. La mayoría de los estudios no tiene una medición real de la exposición a RF, en casi todos los casos fue simulada la exposición de los individuos. Otro factor que permite desvirtuar estudios epidemiológicos es el corto tiempo de seguimiento.

A la fecha se han publicado dos estudios epidemiológicos que tratan sobre la relación entre tumores cerebrales y el uso de teléfonos móviles. Rothman et al (21, 22) han concluido que no hay diferencia en mortalidad entre los usuarios de teléfonos móviles de mano (el aparato es sostenido con la mano, cerca de la cabeza) y usuarios de kits de vehículo (la antena está montada en el techo del vehículo). Hardell et al (23) en un estudio de varios cientos de pacientes con tumores cerebrales en Suecia no encontró ninguna asociación estadísticamente significativa entre

éstos y el uso de teléfonos móviles. Hay que tener presente, no obstante, que los tumores cerebrales suelen tardar años en desarrollarse, muchos más que los períodos de exposición de estos estudios.

Límites de exposición

Muchas organizaciones alrededor del mundo han definido límites de exposición humana a radiofrecuencias, entre ellas la IEEE (24), ANSI (25), NCRP (26) entre muchas otras, además en casi todos los países existe regulación gubernamental que generalmente apoyan sus resoluciones en las normas de los organismos ya mencionados. Tanto las guías como los valores de restricciones en los países son muy similares entre ellas. En algunos países como Rusia los límites de exposición son mucho más restrictivos, esto se debe a que la base de cálculo de estos límites es la “no producción de efectos biológicos” en los organismos, mientras por ejemplo normas de exposición en Estados Unidos basan sus niveles en la “no producción de daños biológicos” en los organismos. La OMS está tratando de estandarizar dichos niveles para crear una norma general de vigencia mundial.

La mayoría de recomendaciones especifican dos conjuntos de límites, para exposición ocupacional y del público. En el caso particular de la norma IEEE-C95.1-1991 (27) se distingue entre entornos «controlados» (cualquier lugar donde las personas son conscientes que están sometidas a radiaciones de RF) e «incontrolados». La mayoría de guías definen límites que son cinco veces menores para entornos «incontrolados» (exposición para el público) que para entornos «controlados» (exposición ocupacional) en el margen de frecuencias hasta 3000 MHz (frecuencia a la cual el organismo absorbe energía más eficientemente).

Todas estas normas contemplan también diferentes situaciones de exposición. Entre ellas se distingue entre exposición de todo el cuerpo o de una región (ésta es la más relevante para los dispositivos de comunicación de RF). También se especifican promedios de tiempo de exposición de seis a 30 minutos (27) (esto significa que exposiciones accidentales de duración menor que el tiempo de promediado pueden tener un valor mayor que el límite).

Todas estas guías de exposición han sido elaboradas por comisiones formadas por científicos e ingenieros, que han revisado la literatura científica para identificar posibles peligros de la exposición a energía de RF. Las guías más importantes se han basado en la revisión exhaustiva de varios miles de artículos científicos, que incluían estudios de ingeniería, investigaciones en animales y cultivos celulares y estudios (epidemiológicos) en humanos.

A pesar de un número de hipótesis bastante elevadas, no se ha podido establecer ningún mecanismo por el cual un campo electromagnético, con niveles por debajo de los de las guías de exposición, puede producir un daño biológico con consecuencias clínicas (28).

Los datos disponibles sobre exposición de humanos a energía de RF son limitados, especialmente para exposiciones de larga duración. Ha habido algunos experimentos de exposición de humanos a niveles de radiación parecidos a los de los teléfonos móviles, pero no se ha encontrado ninguna evidencia de posibles efectos dañinos. Una revisión excelente de la literatura disponible en este campo se puede encontrar en Moulder et al. (29)

En conclusión, no hay ninguna evidencia, ni de estudios de laboratorio ni epidemiológicos, de que la exposición a energía de RF por debajo de los

límites que aparecen en las guías tenga algún efecto en la salud de los humanos.

Referencias

1. Ministerio de Sanidad y Consumo. Campos Electromagnéticos y Salud Pública. Informe técnico Elaborado por el Comité de Expertos. Zaragoza. España. 2000.
2. World Health Organization. Environmental Health Criteria 137: Electromagnetic Fields (300 Hz – 300 GHz), 1993 (Available from: WHO, Geneva, or Canadian Public Health Association, Ottawa, Ontario).
3. **Repacholi MH**. Low-Level Exposure to Radiofrequency Fields: Health Effects and Research Needs. *Bioelectromagnetics* 1998; 19:1-19
4. Royal Society of Canada, "A review of the potential Health risks of radiofrequency fields from wireless telecommunication devices", informe preparado por un panel de expertos a petición de la Royal Society of Canada for Health. Ottawa: Royal Society of Canada 1999.
5. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. ICNIRP Guidelines: Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz). *Health Physics*. 1998;74: 494-522.
6. Ministerio Sanidad y Consumo. Campo Electromagnético y Salud Pública. Informe técnico elaborado por el comité de expertos. 2000. Madrid.
7. **Óbice JD, Jr**, Joseph K. Kclaughsin. Epidemiologic Studies of Cellular telephones and Cancer risk-A review. International Epidemiology Institute. Rockville; US.2000.
8. **Cleary SF**. Effects of radiofrequency radiation on mammalian cells and biomolecules in vitro. In Black M. ed "Electromagnetic Fields Biological Interaction and Mechanics. Washington: American Chemical Society. 1995.
9. **Herrmann DM, Hossman KA**. Neurologic Effects of Microwave exposure related to mobile communication *Neurol J Sci* 1997; pag:
10. **D'Andrea JA, Thomas A**, Rhesus Monkey behaviour during exposure to high-peak-power 5.62 Ghz microwave pases. *Bioelectromagnetics* 1994;vol: pag
11. **Kues HA, Monahan JC, D'Anna SA, Mcleod DS**. Invcreased Sensitivity of teh non-human primate eye to microwave *Bioelectromagnetics* 1992.
12. **Repacholi MH, Basten A, Gebski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW**. Lymphomas in E? -Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat. Res* 1997; 14: 631-640.
13. **Szmigielski S, Szudzinski A, Pietraszek A, Bielec M, Janiak M, Wrembel JK**. Accelerated development of spontaneous and benzopyrene-induced skin cancer in mice exposed to 2450 MHz microwave radiation. *Bioelectromag* 1982; 3: 179-191.
14. **Toler JC, Shelton WW, Frei MR, Merritt JH, Stedham MA**. Long-term low-level exposure of mice prone to mammary tumors to 435 MHz radiofrequency radiation. *Radiat Res* 1997; 148: 227-234 .
15. **Lai H, Singh NP**. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromag* 1995;16:207-210.
16. **Lai H, Singh NP**. Melatonin and a spin-trap compound block radiofrequency electromagnetic radiation-induced DNA strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromag* 1997;18: 446-454 .
17. **Frei MR, Berger RE, Dusch SJ, Guel V, Jauchem JR, Merritt JH, Stedham MA**. Chronic exposure of cancer-prone mice to low-level 2450 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectromag* 1998;19: 20-31.
18. **Frei MR, Jauchem JR, Dusch SJ, Merritt JH, Berger RE, Stedham MA**. Chronic low-level (1.0 W/kg) exposure of mammary cancer-prone mice to 2450 MHz microwaves. *Radiat Res* 1998;150:568-576 .
19. **King MT, Wild D**. The mutagenic potential of hyperthermia and fever in mice. *Mutat Res* 1983;111: 219-226 .
20. **Asanami S, Shimono K**, High body temperature induces micronuclei in mouse bone marrow. *Mutat Res* 1999;390:79-83 .
21. **Rothman KJ, Loughlin JE, Funch DP, Dreyer N**. Overall mortality of cellular telephone customers. *Epidemiology* 1996;7:303-305.
22. **Rothman KJ, Chou CK, Morgan R, Balzano Q, Guy AW, Funch DP, Preston-Martin S, Mandel J, Steffens R, Carlo G**. 1996b. Assessment of cellular telephone and other radio frequency exposure for epidemiologic research. *Epidemiology* 7:291-298.
23. **Hardell L, Nasman A, Pahlson, Hallquits A. and Handson Mild K** (1999). Use of cellular telephones and risk for brain tumours: a case-control study. *Int J. Oncol*, 15, 113.
24. IEEE Std C95.1-1991 – 1999 Edition. IEEE Standard for Safety Levels With Respect to Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz (available from the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., Service Center, 445 Hoes Lane, Piscataway, NJ 08854-1331, U.S.A.).
25. ANSI Z136.1-1993. American National Standard. Ame-

- rican National Standard for Safe Use of Lasers, Section 8.4, p. 34.
26. NCRP: Biological effects and exposure criteria for radio frequency electromagnetic fields, Report 86, (Bethesda, MD National Council on Radiation Protection and Measurements)1986:1-382.
 27. 1. IEEE C95.1-1991: «Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz,» IEEE, Piscataway, NJ, 1992
 28. **Adair RK**, Effects of weak high-frequency electromagnetic fields on biological systems, in Radiofrequency Radiation Standards, Ed. Klauenberg, B.J., Grandolfo, M., and Erwin, D. N., Plenum Press, New York, 1995
 29. **Moulder JE, Erdreich LS, Malyapa RS, Merritt J, Pickard WF**, and Vijayalaxmi «Cell phones and cancer: what is the evidence for a connection?» Rad. Res. 151;1999:513-531,