

Investigación sobre posibles riesgos a la salud humana por exposición a la radiación de ondas electromagnéticas producidas por las radiocomunicaciones

Carlos Felipe García Hernández, Pablo Héctor Ibargüengoytia González, Andrés Flores García y Laura Elena Franco Campos

Resumen

Este procedimiento de verificación está basado en un trabajo de investigación sobre posibles riesgos a la salud humana por exposición a la radiación de ondas electromagnéticas producidas por las radiocomunicaciones, casos de estudio: telefonía celular, radio troncalizado digital y telefonía IP inalámbrica de Voz sobre IP (Red de Área Local Inalámbrica). Se incluyó la revisión de todos los estándares internacionales y de la normatividad nacional aplicable, así como la verificación de cumplimiento.

Introducción

En virtud de la justa preocupación manifestada por diversas comunidades sobre los potenciales efectos de campos electromagnéticos en los seres humanos, particularmente ante el incremento de los aparatos celulares, y la instalación de antenas radio-bases para telefonía celular, radio troncalizado digital y telefonía IP inalámbrica de Voz sobre IP (VoIP), que se basa en la Red de Área Local Inalámbrica (WLAN), la Gerencia de Control e



Las antenas de celular instaladas dentro de las ciudades transmiten, por ejemplo, de 15 W a 170 W, que es la máxima potencia radiada aparente, en función de su coordinación local.

Instrumentación (GCI) del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) desarrolló este procedimiento de verificación para que la comunidad cuente con un documento técnico que le presente todo el panorama, y así proceder correctamente a la validación con mediciones de campo. La telefonía celular y el radio troncalizado digital (ya sean radios portátiles o teléfonos celulares con radio) utilizan sitios o antenas (células) distribuidas en el área de cobertura, por ejemplo, en las ciudades. En cambio, la telefonía IP inalámbrica de VoIP/WLAN utiliza puntos de acceso o antenas distribuidas en lugares de alta concentración de personas, por ejemplo, aeropuertos, restaurantes, centros comerciales, etc.

Revisión de los estándares internacionales y de la normatividad nacional

La GCI llevó a cabo una revisión completa y detallada de todos los estándares internacionales y de la normatividad nacional aplicable, sobre los riesgos a la salud en la utilización de las tecnologías antes mencionadas. Las señales de radio-

frecuencia analizadas fueron las siguientes bandas:

- 400 MHz
- 800 MHz
- 2.4 GHz
- 5 GHz

En el presente artículo se presentan las normas que indican las potencias radiadas

máximas transmitidas en las instalaciones debidamente autorizadas. Asimismo, se presentan los estándares que indican las potencias recibidas por los individuos en función de las frecuencias y de las distancias a la fuente de radiofrecuencia. Por último, se presentan los estándares que indican los límites máximos de exposición que permite el organismo humano sin sufrir efectos adversos.

Tabla 1. Lista de estándares internacionales y normas nacionales que se revisaron.

Estándares internacionales
IEC 61566 1997 “Medición de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia – Intensidad de campo en el rango de frecuencias de 100 KHz a 1 GHz”.
Guía de IRPA (Asociación Internacional de Protección de Radiación) sobre los Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el rango de frecuencias de 100 KHz a 300 GHz.
IEEE Std C95.1 1999: Estándar sobre los niveles de seguridad con respecto a la exposición de seres humanos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, de 3 KHz a 300 GHz.
AS 2772.2-1988: “Radiación de radiofrecuencia, Parte 2: Principios y métodos de medición – de 300 KHz a 100 GHz”.
Normas nacionales
Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL). Efectos biológicos y riesgos potenciales en campos electromagnéticos (http://www.cofetel.gob.mx/work/models/Cofetel_2008/Resource/7539/1/oet56e4.pdf) y (http://www.fcc.gov/oet/rfsafety).
Norma Oficial Mexicana NOM-081-SCT1-1993, Sistemas de radiotelefonía con tecnología celular que operan en la banda de 800 MHz, (http://www.cofetel.gob.mx).
Norma Oficial Mexicana NOM-084-SCT1-2002, Telecomunicaciones – Radiocomunicación – Especificaciones técnicas de los equipos transmisores destinados al servicio móvil de radiocomunicación especializada en flotillas, (http://www.cofetel.gob.mx).
Norma Oficial Mexicana NOM-121-SCT1-1994, Sistemas de radiocomunicación que emplean la técnica de espectro disperso en las bandas de 902-928 MHz, 2450-2483.5 MHz y 5725-5850 MHz, (http://www.cofetel.gob.mx).

Verificación de cumplimiento

Potencias radiadas máximas

En el caso de la **telefonía celular**, la estación base o célula o sitio celular (antena), al estar debidamente autorizada, debe cumplir con:

- La Norma Oficial Mexicana **NOM-081-SCT1-1993**: Sistemas de radiotelefonía con tecnología celular que operan en la banda de 800 MHz (<http://www.cofetel.gob.mx>), donde se establecen los requerimientos técnicos mínimos para estandarizar la compatibilidad de los sistemas de radiotelefonía móvil con tecnología celular, su propósito principal es el de asegurar que cualquier estación móvil pueda obtener servicio en cualquier sistema celular. Estos requerimientos no incluyen aspectos de calidad y confiabilidad de este servicio ni cubre el desempeño de los equipos, tampoco procedimientos de medición. Las especificaciones de carácter técnico que deben cumplir las estaciones móviles y base que operen en la banda de 800 MHz [MegaHertz] son: que la potencia radiada efectiva (ERP) de la estación móvil debe ser máximo 8 dBW [decibeles de Watts] (6.3 W) y que su potencia radiada aparente (PRA) para Clase I de 6 dBW (4 W), Clase II de 2 dBW (1.6 W) y Clase III de -2 dBW (0.6 W), de acuerdo a la sección 6.2.1.2.2. La modulación es FM [Frecuencia Modulada]. Con respecto a la estación base, la máxima potencia radiada aparente y la altura de la antena por encima del promedio del

terreno (HAAT), deben coordinarse localmente sobre una base continua, de acuerdo a la (sección 6.3.1.2).

Cabe mencionar que las antenas de celular instaladas dentro de las ciudades transmiten, por ejemplo, de 15 W a 170 W, que es la máxima potencia radiada aparente, en función de su coordinación local.

Para el caso del **radio troncalizado digital** en las frecuencias de 400 y 800 MHz, al estar debidamente autorizada, debe cumplir con:

b) La Norma Oficial Mexicana **NOM-084-SCT1-2002**, Telecomunicaciones – Radiocomunicación - Especificaciones técnicas de los equipos transmisores destinados al servicio móvil de radiocomunicación especializada de flotillas (<http://www.cofetel.gob.mx>), en la que se establecen las especificaciones y los métodos de prueba a los que deben sujetarse los equipos para el servicio móvil de radiocomunicación especializada en flotillas. Las especificaciones técnicas que deben cumplir los equipos transmisores se indican en la tabla 2.

En la **telefonía IP inalámbrica de Voz sobre IP (VoIP/WLAN)** en las bandas de frecuencias de 2.4 GHz y 5 GHz, al estar debidamente autorizada (equipo homologado) y registrada ante COFETEL, debe cumplir con:

c) El Proyecto de Norma Oficial Mexicana **PROY-NOM-121-SCT1-2001**, Telecomunicaciones – Radiocomunicación - Sistemas de radiocomunicación que emplean la técnica del espectro disperso (<http://www.cofetel.gob.mx>). Se

Tabla 2. Potencias máximas por tipo de estación y banda.

Sección de la norma	Banda de Frecuencias	Potencia media transmisor (máxima) Base/Repetidor	Móvil	Portátil
4.1.1.1	896-901 MHz 935-940 MHz	150 Watts	35 Watts	3 Watts
4.1.2.1	821-824 MHz 866-869 MHz	150 Watts	35 Watts	3 Watts
4.1.3.1	806-821 MHz 851-866 MHz	150 Watts	35 Watts	3 Watts
4.1.4.1	475-476.2 MHz 494.6-495.8 MHz	250 Watts	110 Watts	5 Watts
4.1.5.1	431.3-433 MHz 438.3-440 MHz	110 Watts	110 Watts	5 Watts
4.1.6.1	380-390 MHz 390-400 MHz	110 Watts	50 Watts	5 Watts
4.1.7.1	220-221 MHz 221-222 MHz	110 Watts	40 Watts	6 Watts

establecen las especificaciones mínimas y los métodos de prueba para equipos de radiocomunicación que utilizan la técnica de espectro disperso. Esta norma es aplicable a todos aquellos equipos que utilicen la técnica del espectro disperso y que operen en las bandas de frecuencia 902 a 928 MHz; 2,400 a 2,483.5 MHz y 5,725 a 5,850 MHz. La potencia de salida que deben cumplir los sistemas en estas bandas, dependiendo de su frecuencia de operación se indica en la sección 4.3 de la norma. Los límites máximos permisibles de potencia de salida (transmisor) son: para 902 MHz a 928 MHz, la potencia máxima es de 100 mW (miliWatt); en la frecuencia 2.4 GHz a 2.4835 GHz es de 650 mW y para las frecuencias de 5.725 GHz a 5.850 GHz la potencia máxima es de 250 mW.

Potencias recibidas

Para señales en las frecuencias de 100 KHz a 1 GHz (telefonía celular y radio troncalizado digital), se utiliza el siguiente estándar:

d) Estándar Internacional **IEC 61566 1997**: “Medición de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia – Intensidad de campo en el rango de frecuencias de 100 KHz a 1 GHz”. Este estándar aplica a mediciones de campos electromagnéticos de equipo de transmisión operacional, para asegurar que las transmisiones no constituyen un peligro potencial a los trabajadores. La sección 3.9 define la densidad de flujo de potencia de onda plana equivalente con la ecuación:

$$S = \frac{E^2}{377}$$

donde E representa la intensidad de campo eléctrico r.m.s. (raíz cuadrática media) no perturbado y 377 representa la impedancia del espacio libre en ohms. A su vez, en la sección 6.1.3, para una antena práctica y onda plana, se define la intensidad de campo eléctrico r.m.s. E incidente no perturbado con la ecuación:

$$E = \frac{5.5F(\phi)(PG_i)^{1/2}}{d}$$

donde $F(\phi)$ es el factor de patrón de radiación horizontal en la dirección del punto de medición y es igual a 1 si no puede ser determinado; $P G_i$ es la potencia radiada aparente y corresponde a la media radiada promediada durante 6 minutos; y G_i es la ganancia de la antena respecto a una fuente isotrópica en el espacio libre y d es la distancia al punto de medición.

La tabla 3 muestra los cálculos de la densidad de flujo de potencia para el peor caso en el rango de hasta 1 GHz, es decir, la potencia de 250 Watts según la tabla 2, para la banda de frecuencias de 475 MHz a 495.8 MHz y a diferentes distancias (en metros) de la fuente.

Niveles máximos de absorción

Se presenta la comparación de las potencias radiadas máximas propagadas a diferentes distancias y frecuencias, con los niveles máximos de absorción que soporta el organismo humano. Se incluyen dos casos:

1. Ambientes controlados o de exposición ocupacional. Se refiere a personal que labora en instalaciones de generación de señales de radiofrecuencias, donde las emisiones son controladas (IEEE Std C95.1 1999).

Tabla 3. Cálculo de E y S para diferentes distancias en el peor caso.

Distancia d [m]	Intensidad de campo eléctrico E [V/m]	Densidad de flujo de potencia S [mW/cm ²]
1.5	57.97	0.89
5	17.39	0.08
10	8.69	0.02
50	1.74	8x10 ⁻⁴
100	0.87	2x10 ⁻⁴

Tabla 4. Límites de exposición ocupacional o de ambiente controlado.

Fórmula	$E = 3f^{1/2}$	$S = f / 40$ [W/m ²]
Cálculo	$E = 134.164$ V/m	$S = 5$ mW/cm ²

Tabla 5. Límites de exposición al público en general o ambientes no controlados.

Fórmula	$E = 1.375f^{1/2}$	$S = f / 2000$ [W/m ²]
Cálculo	$E = 61.492$ V/m	$S = 1$ mW/cm ²

2. Ambientes no controlados o del público en general. Se refiere a lugares públicos donde no se tiene control de las señales de radiofrecuencia emitidas al ambiente (IEEE Std C95.1 1999).

En la Sección A.1 del Anexo A del Estándar Internacional **IEC 61566 1997**, respecto a límites de exposición ocupacional o de ambiente controlado, se obtienen E y S de las siguientes fórmulas (tabla 4).

Para f expresada en Megahertz en el rango de 400 MHz – 2000 MHz, para el peor caso con $f = 2000$ MHz.

Y en la Sección A.2, respecto a los límites de exposición al público en general o ambientes no controlados, se obtienen E y S de las siguientes fórmulas (tabla 5).

En su Anexo B cita las referencias en las

que se basó IEC, las cuales son los tres estándares (Guía de IRPA), (IEEE Std C95.1 1999) y (AS2772.2-1998).

Para **telefonía IP inalámbrica de Voz sobre IP** (VoIP/WLAN) de 2.4 GHz y 5 GHz, se utiliza el siguiente estándar.

- e) **IEEE Std C95.1 1999**: Estándar para niveles de seguridad con respecto a la exposición de seres humanos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia de 3KHz a 300 GHz. En este no se reporta el valor de intensidad de campo eléctrico r.m.s. no perturbado (V/m), como el reportado en el Estándar Internacional IEC 61566 1997, sólo se reporta para un rango de 300 MHz a 3000 MHz, en las secciones 4.1.1 y 4.1.2, respecto a una densidad de potencia S dada por las siguientes formulas (tabla 6). A la izquierda se refiere a ambientes

controlados (sección 4.1.1) para un tiempo promedio de exposición de **6 minutos**, mientras que a la derecha se refiere a los ambientes públicos o no controlados (sección 4.1.2) para un tiempo promedio de exposición de **30 minutos**, que incluye también la banda de 3,000 MHz a 15,000 MHz con un tiempo promedio de exposición de **90,000/f minutos**.

Donde f es la frecuencia en MegaHertz y tomando nuestro peor caso de **5.8 GHz**, con un tiempo promedio de exposición de **15.5 minutos** y tratado como la Exposición Máxima Permisible (MPE).

La conclusión de este estudio se obtiene al comparar los resultados de peor caso a 10 metros de la tabla 3, que cubre telefonía celular y radio troncalizado digital, es decir, los niveles máximos de densidad de flujo de potencia ($E = 8.69$ V/m y $S = 0.02$ mW/cm²), que resulta de la máxima potencia transmitida por la antena, con los niveles máximos de absorción del cuerpo humano de peor caso de la tabla 5 ($E = 61.492$ V/m y $S = 1$ mW/cm²) de exposición al público en general o ambientes no controlados del estándar internacional. Por lo anterior, se concluye que las tecnologías de telefonía celular y radio troncalizado digital, que cumplen con la normatividad nacional, no afectan al ser humano por radiación electromagnética de acuerdo a los estándares internacionales.

Asimismo, se puede ver que el caso más crítico de todos es cuando el organismo tiene un nivel de absorción segura más bajo y se encuentra en presencia del mayor flujo. Esto es, en ambientes públicos el organismo aguanta hasta **3.86 mW/cm²**

Tabla 6. Límites de exposición de densidad de potencia S .

Fórmula	$E = f / 300$	$S = f / 1500$
Cálculo	$S = 19.33 \text{ mW/cm}^2$	$S = 3.86 \text{ mW/cm}^2$

(tabla 6), mientras que el mayor flujo en todos los casos analizados en este estudio, es de **0.89 mW/cm²** (tabla 3) en ambientes no controlados o de exposición al público, a metro y medio de distancia de una antena radiando a 250 Watts y aún así no existe peligro alguno.

Finalmente, para telefonía IP inalámbrica de VoIP/WLAN, en la tabla 6 se tiene $S = 3.86$ mW/cm² de exposición al público, que para 2.4 GHz con 650 mW y para 5 GHz con 250 mW, los valores de S son: $S(2.4 \text{ GHz}) = 2.3 \times 10^{-3}$ mW/cm² y $S(5 \text{ GHz}) = 0.89 \times 10^{-3}$ mW/cm² (a 1.5 m de las ecuaciones de E y S de IEC), con lo que se observa que tampoco afecta al ser humano. A continuación se presenta la tabla 7 que resume este estudio.

Por lo tanto, se concluyó que no afecta a las personas la presencia cercana de las antenas de telefonía celular, radio troncalizado digital y de telefonía IP inalámbrica de VoIP/WLAN, de acuerdo a los estándares internacionales y a la normatividad nacional aplicable. El IIE recomienda que se validen los valores reportados en este estudio para mayor seguridad, con las mediciones de campo respectivas.

Otros documentos relacionados

Los siguientes documentos están relacionados con las normas mencionadas anteriormente o son referenciados directa-

mente por las normas internacionales, por lo que se incluyen en este estudio como referencias.

- a) Guía de **IRPA** (Asociación Internacional de Protección de Radiación) sobre los Límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el rango de frecuencias de 100 KHz a 300 GHz. En ésta se mencionan las mismas cantidades de intensidad de campo eléctrico r.m.s. no perturbado reportadas en el Estándar Internacional IEC 61566 1997.
- b) Estándar Australiano **AS 2772.2-1988**: “Radiación de radiofrecuencia, Parte 2: Principios y métodos de medición – de 300 KHz a 100 GHz”, el cual hace referencia en su sección 7.4.2 (d) segundo párrafo, a los Estándares Británicos **BS 6656** y **BS 6657**, mencionados a continuación.

Las antenas de **telefonía celular, radio troncalizado digital y telefonía IP inalámbrica de VoIP/WLAN** no tienen que cumplir con los siguientes dos Estándares Británicos, sino que se deben de considerar en caso de encontrarse cerca algunas instalaciones que pudieran verse afectadas por lo siguiente:

- **BS 6657 1991**: Estándar Británico referente a la Guía para prevención de iniciación inadvertida de dispositivos electro-explosivos por radiación de radiofrecuencia.

Tabla 7. Resumen del estudio de exposición de radiofrecuencias al público.

Frecuencias (Bandas)	NOM P_{max} , E, S	IEC, IEEE Límites máximos: E, S	Distancia, Tiempo promedio de exposición	Cumple Sí/No
150 MHz	NOM-I-52/2-1983 $PRA_{base} = 330 W_A$ $PRA_{móvil} = 60 W_A$ $E = 9.99 V/m$ $S = 0.026 mW/cm^2$	IEC 61566 1997 $E = 27.5 V/m$ $S = 0.2 mW/cm^2$	$d = 10$ metros $t = 6$ minutos Valores fijos reportados en IEC de exposición al público.	Sí
400 MHz Convencional	NOM-I-52/2-1983 $PRA_{base} = 330 W_A$ $PRA_{móvil} = 60 W_A$ $E = 9.99 V/m$ $S = 0.026 mW/cm^2$	IEC 61566 1997 $E = 27.5 V/m$ $S = 0.2 mW/cm^2$	$d = 10$ metros $t = 6$ minutos Los valores fijos reportados en IEC de exposición ocupacional son: $E = 61 V/m$ y $S = 1 mW/cm^2$	Sí
Troncal	NOM-084-SCT1-2002 250 W $E = 8.69 V/m$ $S = 0.02 mW/cm^2$	IEC 61566 1997 $E = 27.5 V/m$ $S = 0.2 mW/cm^2$	$d = 10$ metros $t = 6$ minutos	Sí
800 MHz Troncal	NOM-084-SCT1-2002 150 W $E = 6.73 V/m$ $S = 0.012 mW/cm^2$	IEC 61566 1997 $E = 39.89 V/m$ $S = 0.4 mW/cm^2$	$d = 10$ metros $t = 6$ minutos	Sí
Celular	NOM-081-SCT1-1993 150 W (aproximadamente por Coordinación Local) $E = 6.73 V/m$ $S = 0.012 mW/cm^2$	IEC 61566 1997 $E = 39.89 V/m$ $S = 0.4 mW/cm^2$	$d = 10$ metros $t = 6$ minutos	Sí
2.4 GHz	PROY-NOM-121-SCT1-2001 650 mW $S = 2.3 \times 10^{-3} mW/cm^2$	IEEE Std C95.1 1999 $S = 3.86 mW/cm^2$	$d = 1.5$ metros $t(\text{público}) = 30$ minutos $t(\text{ocupacional}) = 6$ minutos	Sí
5 GHz	PROY-NOM-121-SCT1-2001 250 mW $S = 0.89 \times 10^{-3} mW/cm^2$	IEEE Std C95.1 1999 $S = 3.86 mW/cm^2$	$d = 1.5$ metros $t(\text{público}) = 90,000/f(\text{MHz})$ y $f = 5.8$ GHz $t(\text{público}) = 15.5$ minutos $t(\text{ocupacional}) = 6$ minutos	Sí
P_{max} = Potencia Máxima PRA = Potencia Radiada Aparente W_A = Watts Aparentes				

- **BS 6656 1991:** Estándar Británico referente a la Guía para prevención de ignición inadvertida de atmósferas inflamables por radiación de radiofrecuencia, único estándar internacional que cubre ampliamente y a detalle la influencia de la radiofrecuencia en instalaciones donde, sólo en caso de fuga de gas, puedan existir atmósferas de gases inflamables de ignición por chispa eléctrica.

Por otro lado, la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL) reporta sobre los **Efectos biológicos y riesgos potenciales en campos electromagnéticos**, por lo que el área de Ingeniería y Tecnología de la COFETEL ha iniciado una intensa búsqueda de información pertinente, que represente lo más relevante en las investigaciones científicas que se llevan a cabo en el mundo sobre el tema. Tal es el caso del documento *Questions and answers about biological effects and potential hazards of radiofrequency electromagnetic fields* (Preguntas y respuestas sobre los efectos biológicos y potenciales riesgos de los campos electromagnéticos de radiofrecuencia) (http://www.cofetel.gob.mx/work/models/Cofetel_2008/Resource/7539/1/oct56e4.pdf), preparado por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) de los Estados Unidos de América, constituye el primer resumen de los trabajos e investigaciones sobre esta materia.

De hecho, la COFETEL decidió conservar la versión original en idioma inglés, para evitar errores de interpretación y reproducir íntegramente el documento, que incluye una notable bibliografía que puede ser consultada por todos los interesados en la página web: <http://www.fcc.gov/oct/rfsafety>.

Conforme esta área de la COFETEL vaya identificando nuevos documentos disponibles sobre este tema, las referencias y eventualmente los artículos enteros, los publicará para beneficio e información de las autoridades, operadores y usuarios de los servicios de telecomunicación aludidos.

En el PDF, referenciado arriba, se basan los estándares internacionales descritos en el estudio, así como de información de otras fuentes.

Por otro lado, la GCI del IIE recomienda para las mediciones de campo lo siguiente: el campo eléctrico máximo en V/m es $E_{\max} = ((G_{\text{ant}} Z_0 I_0^2 r_{\text{ent}}) / 4 \pi d^2)^{1/2}$ donde G_{ant} es la ganancia de la antena (no en dB, sino numéricamente sin unidades), Z_0 es la impedancia característica del espacio libre = 377 ohms, I_0 es la corriente al cuadrado medida en el punto de alimentación de la antena ($A = \text{Amperes}$), r_{ent} es la resistencia de entrada medida en el punto de alimentación de la antena (ohms) y d es la distancia al punto de medición (metros).

En conclusión, se hizo la investigación de posibles riesgos a la salud humana por contaminación de radiación de ondas electromagnéticas producidas por las radiocomunicaciones, para los casos de telefonía celular, radio troncalizado digital y telefonía IP inalámbrica de VoIP/WLAN, la cual consistió en la revisión de los estándares internacionales y de la normatividad nacional, y en la verificación de cumplimiento, por lo que se concluye que no afectan al ser humano, de acuerdo a los estándares internacionales y a la normatividad nacional.



Conclusiones

Se concluye que no afecta a las personas la presencia cercana de las antenas de telefonía celular, radio troncalizado digital y de telefonía IP inalámbrica de VoIP/WLAN, siempre y cuando se cumpla con los estándares internacionales y a la normatividad nacional aplicable. El IIE recomienda que se verifiquen los valores reportados en este estudio con las mediciones de campo respectivas, para asegurar el cumplimiento de los estándares y normas reportados en esta investigación.

CARLOS FELIPE GARCÍA HERNÁNDEZ
[cfgarcia@iie.org.mx]

Maestro en Sistemas de Telecomunicaciones por la Universidad de Essex, Inglaterra, en 1986. Licenciado en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica por la Universidad de Guanajuato en 1983. Ha publicado diversos artículos nacionales e internacionales, presentado conferencias y dirigido varias tesis de licenciatura y maestría. Profesor de asignatura de maestría desde 1987 en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET). Labora como investigador de tiempo completo y Jefe de Proyectos de Radiocomunicaciones y Telecomunicaciones en la Gerencia de Control e Instrumentación del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) desde 1983. Su área de interés es sobre Redes Inalámbricas y Móviles, incluyendo Redes Móviles Ad hoc y Redes de Sensores Inalámbricos.

Bibliografía

IEC 61566 1997: *Medición de la exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia – Intensidad de campo en el rango de frecuencias de 100 KHz a 1 GHz.*

Guía de IRPA (Asociación Internacional de Protección de Radiación) sobre los límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencia en el rango de frecuencias de 100KHz a 300 GHz.

IEEE Std C95.1 1999: *Estándar del IEEE para niveles de seguridad con respecto a la exposición de seres humanos a campos electromagnéticos de radiofrecuencia, de 3KHz a 300 GHz.*

AS 2772.2-1988: *Radiación de radiofrecuencia, Parte 2: Principios y métodos de medición – de 300 KHz a 100 GHz.*

PABLO HÉCTOR IBARGÜENGOYTIA GONZÁLEZ [pibar@iie.org.mx]

Doctor en Ciencias de la Computación por la Universidad de Salford, Gran Bretaña, con especialidad en Inteligencia Artificial en 1997. Maestro en Ciencias por la Universidad de Minnesota, Estados Unidos, en 1983. Ingeniero en Electrónica por la Universidad Autónoma Metropolitana. Investigador de tiempo completo del Instituto de Investigaciones Eléctricas desde 1983 y Profesor de cátedra del ITESM, Campus Cuernavaca, desde 1998. Sus áreas de interés son las aplicaciones de los sistemas inteligentes al sector energético, esto incluye aprendizaje automático y manejo de incertidumbre en inteligencia artificial. Es investigador nacional del SNI y autor de artículos nacionales e internacionales. Ha dirigido varias tesis de licenciatura y maestría.

Comisión Federal de Telecomunicaciones, Efectos biológicos y riesgos potenciales en campos electromagnéticos, http://www.cofetel.gob.mx/work/models/Cofetel_2008/Resource/7539/1/oet56e4.pdf y <http://www.fcc.gov/oet/rfsafety>.

Norma Oficial Mexicana, NOM-081-SCT1-1993, *Sistemas de radiotelefonía con tecnología celular que operan en la banda de 800 MHz*, <http://www.cofetel.gob.mx>.

Norma Oficial Mexicana, NOM-084-SCT1-2002, *Telecomunicaciones – Radiocomunicación – Especificaciones técnicas de los equipos transmisores destinados al servicio móvil de radiocomunicación especializada en flotillas*, <http://www.cofetel.gob.mx>.

Norma Oficial Mexicana, NOM-121-SCT1-1994, *Sistemas de radiocomunicación que emplean la técnica de espectro disperso en las bandas de 902-928MHz, 2450-2483.5MHz y 5725-5850MHz*, (<http://www.cofetel.gob.mx>).



De izquierda a derecha: Pablo Héctor Ibargüengoytia González y Carlos Felipe García Hernández