

Los sistemas inalámbricos están presentes en prácticamente cualquier lugar: radio, televisión, telefonía móvil, Wi-Fi, etc... La liberalización del mercado de las telecomunicaciones ha elevado notablemente el número de instalaciones radioeléctricas, imprescindibles para ofrecer una buena cobertura, siendo probablemente la telefonía móvil el ejemplo más evidente de este crecimiento.

Esta proliferación de equipos radiantes ha provocado que los ciudadanos se vean inevitablemente expuestos a todo tipo de campos electromagnéticos. Estas radiaciones generan cierta incertidumbre a algunas personas, que creen que pueden ser nocivas para la salud. Este documento trata de explicar y aclarar los niveles de radiación que provoca a los usuarios la tecnología WiMAX en banda libre.

Introducción

Existen multitud de fuentes de radiación **naturales** a las que el ser humano ha estado siempre expuesto (radiación solar, campo magnético terrestre, etc...), pero con el auge de la electricidad y de las comunicaciones se han incrementado considerablemente las fuentes de radiación **artificiales** (líneas de alta tensión, televisión, etc...). La pregunta es ¿suponen un peligro para la salud?

Una radiación electromagnética puede definirse como una emisión desde una fuente de ondas electromagnéticas (OEM) que se propagan por el espacio transportando energía. Se caracterizan principalmente por dos parámetros: amplitud y frecuencia. Modulando estas dos propiedades se consigue que transporten información.

Respecto a la energía que portan, se distinguen 2 tipos:

- **Radiaciones ionizantes:** son aquellas ondas con energía suficiente para romper las uniones químicas. Éstas incluyen rayos X, rayos gamma, radiaciones cósmicas, etc...
- **Radiaciones no-ionizantes:** el resto de ondas pertenecen a este grupo, incluyendo todas las que se usan para transmitir información (telefonía móvil, radio, televisión, microondas, etc...).

Las emisiones de este último grupo no son capaces por sí mismas de deteriorar materiales como el ADN o complejos enzimáticos, o de inducir la formación de sustancias extrañas. Dado que en el deterioro del ADN se encuentra la base de los procesos mutágenos y cancerígenos, el carácter no-ionizante de estas ondas es algo a tener muy en cuenta. Lo que sí que pueden hacer cuando transportan mucha energía es calentar la materia al excitar sus moléculas (en ese principio se basa el horno microondas). Por este motivo, existe siempre una normativa clara que regula unos valores de seguridad para que las OEM no provoquen problemas a la población.

Lo que está claro es que los efectos sobre la salud de las OEM no-ionizantes dependen de la energía que portan. La energía recibida en un punto depende fundamentalmente de la **potencia radiada** por la fuente, y de la **distancia** entre fuente y receptor (a medida que las ondas se propagan por el espacio, su potencia disminuye). Este hecho es fundamental para la protección de la población, pues conociendo la potencia y la dirección de la radiación, sabremos las densidades de potencia que recibiría un ser humano a diferentes distancias.

Se han realizado múltiples estudios desde diferentes disciplinas para determinar si existe un riesgo real a la salud por exposición a las OEM, pero aún no se ha encontrado evidencia suficiente para determinar efectos negativos, al menos a los niveles de radiación permitidos por los organismos internacionales.

Normativa legal

En España, las emisiones radio se regulan según el REAL DECRETO 1066/2001. En este documento se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico y las restricciones a las emisiones radioeléctricas.

El Reglamento que se aprueba por este Real Decreto tiene, entre otros objetivos, adoptar medidas de protección sanitaria de la población. Para ello, se establecen unos límites de exposición del público en general a campos electromagnéticos procedentes de emisiones radioeléctricas, acordes con las recomendaciones europeas. Para garantizar esta protección se establecen unas restricciones básicas y unos niveles de referencia que deberán cumplir las instalaciones afectadas por este Real Decreto. Fue creado como objeto de dar respuesta a las radiaciones de telefonía móvil, aunque se puede aplicar a cualquier equipo radiante. Extraemos este fragmento:

CAPÍTULO III

Límites de exposición para la protección sanitaria y evaluación de riesgos por emisiones radioeléctricas.

Artículo 6. Límites de exposición a las emisiones radioeléctricas. Restricciones básicas y niveles de referencia.

En cumplimiento de lo dispuesto en el artículo 62 de la Ley 11/1998, de 24 de abril, General de Telecomunicaciones, y en desarrollo de la Ley 14/1986, de 25 de abril, General de Sanidad, de acuerdo con la Recomendación del Consejo de Ministros de Sanidad de la Unión Europea, de 12 de julio de 1999, y con el fin de garantizar la adecuada protección de la salud del público en general, se aplicarán los límites de exposición que figuran en el anexo II. Los límites establecidos se cumplirán en las zonas en las que puedan permanecer habitualmente las personas y en la exposición a las emisiones de los equipos terminales, sin perjuicio de lo dispuesto en otras disposiciones específicas en el ámbito laboral.

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (μT)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m ²)
0-1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10.000	$4.000/f$	$5.000/f$	—
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	—
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10-400 MHz	28	$0,73/f$	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Figura 1 - Cuadro del Anexo II del RD1066

Sistema WiMAX 802.16-2009 en 5GHz

La arquitectura típica de una celda de acceso mediante tecnología WiMAX en banda libre es la siguiente:

- **Estación Base (BS)**, instalada generalmente en un punto elevado (por ejemplo, torre de comunicaciones) y con una antena sectorial para cubrir un área de varios Km².
- **Terminal de usuario (CPE)**, instalado en el exterior de un edificio o vivienda (azotea, pared, etc...), y con una antena que apunta directamente a la BS a la que se conecta. El CPE puede estar instalado a distancias de hasta 20 km de la BS.

Con esta arquitectura, lo que está cerca de los usuarios finales es el CPE, con lo que procedamos a continuación a analizar el impacto que pueden tener sus radiaciones.

En España, el *Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF)* define qué bandas de frecuencia se emplean, y qué uso se les da. El espectro disponible en banda libre es muy limitado, además de ser bastante utilizado por el simple hecho de ser de uso libre (no hace falta una licencia especial para transmitir). Esto implica que hay que limitar de alguna manera la emisión de los equipos de banda libre para posibilitar las transmisiones (de no ser así los equipos que emitiesen más potencia interferirían gravemente en todos los demás).

En banda libre, la CNAF establece los siguientes niveles máximos de PIRE (*Potencia Radiada Isotrópica Equivalente*). Estos niveles de PIRE máximo permitido por Ley, junto con los niveles de distancia máxima de seguridad a una fuente emisora que se recogen en el **Real Decreto 1066** mencionado previamente, definen la distancia de seguridad a la que habría que colocarse respecto de un terminal WiMAX que esté emitiendo el máximo PIRE permitido:

	5,4 GHz	5,8 GHz
PIRE máximo	1 W	4 W
Distancia máxima de seguridad	0.09 m	0.178 m

Esto quiere decir que, situados justo en frente de un CPE que este transmitiendo datos a la máxima potencia permitida y en el peor caso posible (5,8GHz), el RD1066 establece que hay que mantener una distancia de seguridad de 17,8 centímetros.

Sin embargo, este es el caso peor de todos y asume que el CPE transmite el 100% del tiempo a su máxima potencia, cosa que no sucede nunca. En el siguiente punto se introducirá el interesante concepto del "Duty Cycle", que demostrará que las emisiones efectivas de un CPE WiMAX son incluso menores, y por lo tanto, que la distancia mínima de seguridad puede ser menor aún.

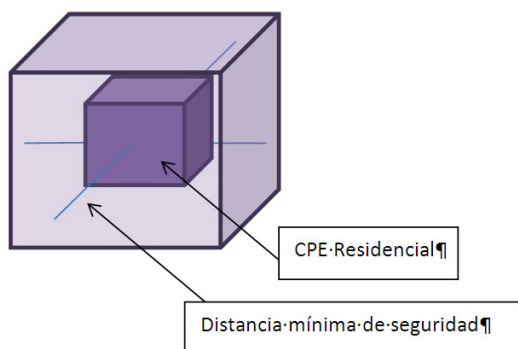


Figura 2 - Esquema del área de seguridad

Ciclo de trabajo en equipos radiantes

Este concepto resulta crucial para calcular la potencia real emitida por cualquier equipo radiante. Todo equipo electrónico tiene un ciclo de trabajo ("Duty Cycle"), que se define como *la fracción del tiempo total en el que el equipo está activo*. Este concepto, aplicable a todo equipo electrónico, puede aplicarse a las transmisiones RF, que pueden dividirse en dos grandes grupos:

- **Continuas (CW, Continuous Wave)**: se emite continuamente señal al aire. Ejemplos clásicos de este tipo son las transmisiones AM/FM. La potencia radiada al aire puede variar, pero siempre existe.
- **A Pulsos (PW, Pulsed Wave)**: en estas transmisiones la radiación sucede "a ráfagas", ya que hay lapsos de tiempo en los que se transmite y otros en los que no. El ejemplo más claro probablemente sea el sistema RADAR.

Yendo a nuestro caso particular, el sistema WiMAX es un sistema Punto-Multipunto (una BS con múltiples usuarios conectados) que utiliza **TDD (Time División Multiplex)**, de forma que una parte del tiempo la BS es la que transmite y otra parte del tiempo son los CPEs los que lo hacen. Configurar una división del 50% del tiempo para cada uno (caso habitual), implica que de cada 2 segundos, los CPEs solo transmiten uno. Esto supone un ratio del 0.5 del tiempo total para transmisiones de todos los CPEs.

Además, WiMAX utiliza **TDMA (Time Division Multiple Access)** para repartir en el tiempo a los distintos usuarios. Esto significa que, dentro del 0.5 del tiempo total que se utiliza para que los CPEs transmitan, este tiempo se divide a su vez en pequeñas porciones de tiempo para cada uno de ellos. Obviamente, a medida que el número de usuarios conectados a una BS crece, y suponiendo patrones de tráfico similares de todos los CPEs, el número de tiempo que cada uno de ellos transmite se reduce de forma proporcional.

Tras lo que se ha expuesto, en una celda WiMAX típica formada por 1 BS y 50 CPEs, tendríamos que:

- La BS transmite el 50% del tiempo
- Cada CPE transmite el 1% del tiempo (50 usuarios se reparten el 50% de tiempo restante)

Podemos por tanto estimar que el Duty-Cycle de un CPE WiMAX en una celda típica ronda el 1%. Por este motivo, las transmisiones de un CPE se asemejan mucho más a una transmisión a pulsos que una transmisión continua: el CPE únicamente emitirá potencia durante una pequeña porción del tiempo total.

El concepto "duty-cycle" es fundamental a la hora de calcular la radiación de un sistema, porque relaciona la Potencia de Pico (la máxima alcanzable en un instante) con la Potencia Media (la energía media radiada). La legislación siempre se refiere a Potencias Medias cuando habla de distancias de seguridad, con lo que es más real por lo tanto calcular este valor considerando la Potencia Media radiada en lugar de la Potencia máxima en un instante puntual. En el caso que nos compete, y recalculando la distancia mínima que establece el **RD1066** para el valor de Potencia Media de un CPE WiMAX con un Duty-Cycle del **1%**, tenemos que:

	5,4 GHz	5,8 GHz
Potencia Media máxima emitida	10 mW	40 mW
Distancia máxima de seguridad	0.89 cm	1.78 cm

Comparativa con otras tecnologías

Para finalizar el análisis, en esta página se presentan dos gráficas que ilustran una comparativa de emisiones radioeléctricas entre un CPE WiMAX y otros 4 elementos radiantes cotidianos: un teléfono móvil, una Estación Base de telefonía (BTS), un *router* Wi-Fi de una vivienda, y un microondas. En la tabla al final de la página se explican las hipótesis asumidas para los cálculos. A continuación se hacen también algunos comentarios:

- WiMAX es una tecnología que necesita línea de vista (LOS) para poder funcionar: su frecuencia de funcionamiento y potencia no son los mejores para atravesar obstáculos como paredes, ya que esto atenúa mucho la potencia recibida.
- WiMAX es una tecnología de muy baja potencia. La telefonía móvil tiene que emitir necesariamente a mayor potencia por varios motivos: porque puede (es banda licenciada), porque tiene que poder atravesar paredes (cobertura dentro de edificios), porque tiene que poder funcionar sin línea de vista entre Estación Base y terminal móvil, etc...

- Debido a que las antenas de los CPEs WiMAX son directivas, emiten prácticamente el total de su potencia hacia la BS, con lo que la radiación en otras direcciones (hacia la vivienda, por ejemplo) es cientos de veces menor.
- Un *router* Wi-Fi tiene una limitación de PIRE muy similar a la de un CPE WiMAX, con la diferencia de que el *router* radia directamente en el interior de la vivienda (sin obstáculos) y en todas direcciones, mientras que un CPE WiMAX radia en dirección contraria (hacia su BS) y habiendo al menos una pared de por medio.
- Tan importante es la potencia que radia un transmisor como la distancia a la que estemos situados. En la gráfica se ve que aunque un teléfono móvil no radia mucho (1 Watt), el hecho de colocarlo a centímetros del cerebro hace que la radiación recibida por una persona de un teléfono móvil sea 9 órdenes de magnitud superior, es decir, mil millones de veces mayor que la que recibe esa misma persona de un CPE WiMAX instalado en el exterior de su vivienda.

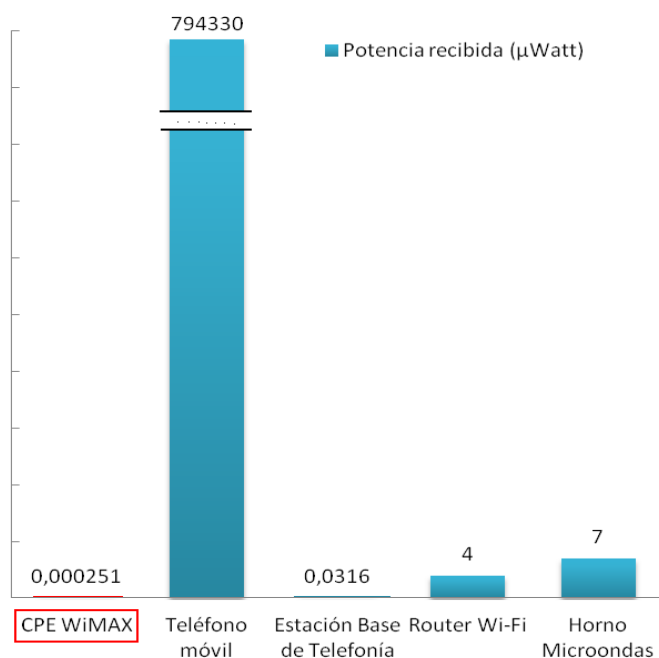


Figura 3 - Comparativa de Potencia Recibida

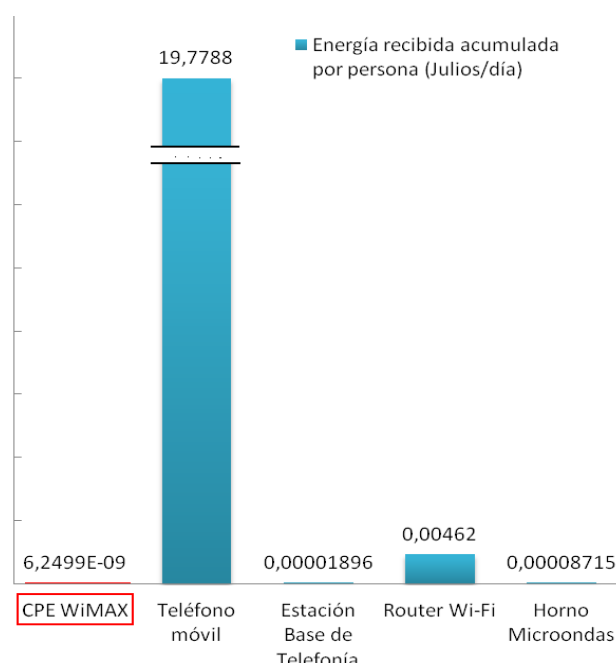


Figura 4 - Comparativa de Energía Acumulada recibida por una persona en un día

Hipótesis asumidas

CPE WiMAX	Ptx=20dBm (100mW), Ganancia de antena -5 dBi (hacia la vivienda, ya que el CPE apunta hacia la dirección contraria), 5m de distancia al sujeto, 20dBis de pérdidas por obstáculos (pared), tiempo de exposición medio diario de 16horas, con duty-cycle del 1%
Teléfono GPRS	Ptx=30dBm (1W), Ganancia de antena 0 dBi (omnidireccional), 5cm de distancia a la cabeza del sujeto, sin pérdidas por obstáculos, tiempo de exposición medio diario de 40 minutos, con duty-cycle del 25%
Estación Base GPRS	Ptx=37Bm (5W), Ganancia de antena -5 dBi (hacia la vivienda, ya que el CPE apunta hacia la dirección contraria), distancia al sujeto de 5m, -20dBis de pérdidas por obstáculos (pared), tiempo de exposición medio diario 16horas, con duty-cycle del 25%
AP-Router WiFi	Ptx=20Bm (100mW), Ganancia de antena 5 dBi, distancia al sujeto de 100m, -20dBis de pérdidas por obstáculos (pared), tiempo de exposición medio diario 16horas, con duty-cycle del 25%
Horno Microondas	Ptx=20Bm (700W), Ganancia de antena 0dBi (no está pensado para emitir), distancia al sujeto de 1m, -40dBis de pérdidas por obstáculos (estructura del horno), tiempo de exposición medio diario 5minutos, con duty-cycle del 100%

CONCLUSIONES

Tras los datos expuestos en este documento, se puede concluir que la tecnología WiMAX cumple con todas las directrices y normativas españolas y europeas en cuanto a la protección de la salud de las personas. La legislación española establece que habría que guardar una distancia de seguridad en el peor de los casos de 1,78 cm. en línea recta desde el equipo transmisor (en el caso de existencia de una exposición continuada), margen que se consigue sobradamente cuando este equipo se instala en exteriores. Un ser humano en una vivienda recibe mucha más radiación de otros equipos de uso cotidiano como el teléfono móvil o el router Wi-Fi, por ejemplo.