

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN A LAS REDES INALÁMBRICAS

1.1 Introducción

Se llama comunicación inalámbrica a aquella que se lleva a cabo sin el uso de cables de interconexión entre los participantes [1]; por ejemplo una comunicación con teléfono móvil es inalámbrica, mientras que una comunicación con teléfono fijo tradicional no lo es.

Desde hace relativamente poco tiempo, se está viviendo lo que puede significar una revolución en el uso de las tecnologías de la información tal y como lo conocemos. Esta revolución puede llegar a tener una importancia similar a la que tuvo la adopción de Internet por el gran público.

Las redes inalámbricas o *Wireless Networks* (WN), se están introduciendo en el mercado de consumo gracias a unos precios populares y a un conjunto de entusiastas, mayoritariamente particulares, que han visto las enormes posibilidades de esta tecnología.

Aunque las tecnologías que hacen posible las comunicaciones inalámbricas (láser, infrarrojo y radio, principalmente) existen desde hace muchos años, su implantación comercial no ha sido posible hasta fechas recientes. El primer servicio que se liberó del cable fue la telefonía. La telefonía móvil apareció en los años setenta y poco a poco se ha ido desarrollando hasta superar a la telefonía fija en el número de líneas.

La revolución de los ordenadores personales y el espectacular desarrollo de Internet están haciendo que la informática sea tan común en la vida diaria como lo es el teléfono. Tenemos ordenadores de sobremesa, portátiles o los más recientes PDA. Por otro lado, también tenemos la informática en todo tipo de útiles diarios: desde el coche o la calefacción de casa hasta los juguetes de los niños. Todos estos dispositivos son susceptibles de intercomunicarse entre sí y, aunque pueden hacerlo por los sistemas de cables tradicionales, su mayor potencial se alcanza a través de las comunicaciones inalámbricas.

En este entorno, no es de extrañar que esté creciendo el número de soluciones inalámbricas: GSM, UMTS, Wi-Fi, *Bluetooth*, DECT, GPRS, 3G, LMDS, etc.

1.2 Tipos de redes inalámbricas

Una red inalámbrica es un conjunto de ordenadores, o de cualquier otro dispositivo informático, comunicados entre sí mediante soluciones que no requieran el uso de cables de interconexión [2].

Aunque se puede llegar a pensar que las redes inalámbricas están orientadas a dar solución a las necesidades de comunicaciones de las empresas, dado su bajo coste, cada vez más forman parte del equipamiento de comunicaciones de los hogares.

Para disponer de una red inalámbrica, sólo hace falta instalar una tarjeta de red inalámbrica en los ordenadores involucrados, hacer una pequeña configuración y listo.

Esto quiere decir que instalar una red inalámbrica es un proceso mucho más rápido y flexible que instalar una red cableada.

Las comunicaciones inalámbricas pueden clasificarse de distintas formas dependiendo del criterio al que se atienda. En este caso, se clasifican de acuerdo con su alcance. Se llama alcance a la distancia máxima a la que pueden situarse las dos partes de la comunicación inalámbrica.

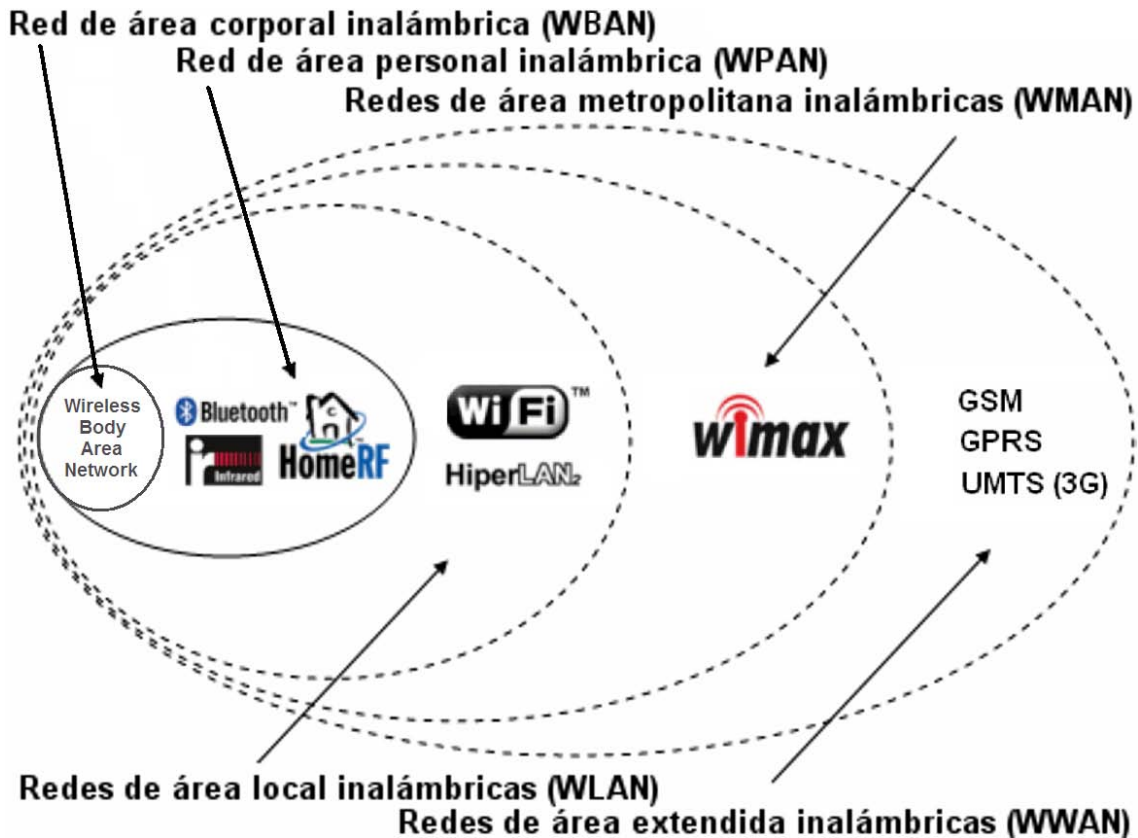


Figura 1.1: Tipos de redes inalámbricas

Las comunicaciones inalámbricas de acuerdo con su alcance se dividen en los siguientes grupos [3][17]:

- Redes inalámbricas de área corporal o **WBAN** (*Wireless Body Area Network*) cubren distancias de 1 ó 2 metros.
- Redes inalámbricas de área personal o **WPAN** (*Wireless Personal Area Network*) cubren distancias inferiores a los 10 metros. Estas soluciones están pensadas para interconectar los distintos dispositivos de un usuario (por ejemplo, el ordenador con la impresora). Éste es el caso de la tecnología Bluetooth o de IEEE 802.15.
- Redes inalámbricas de área local o **WLAN** (*Wireless Local Area Network*) cubren distancias de unos cientos de metros. Estas redes están pensadas para crear un entorno de red local entre ordenadores o terminales situados en un mismo edificio o grupos de edificios. Éste es el caso de Wi-Fi o HomeRF, por ejemplo.
- Redes inalámbricas de área metropolitana o **WMAN** (*Wireless Metropolitan Area Network*) pretenden cubrir el área de una ciudad o entorno metropolitano. Los

protocolos LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*) o MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*) ofrecen soluciones de este tipo.

- Redes inalámbricas de área extensa o **WWAN** (*Wireless Wide Area Network*), también conocidas como de área global o WGAN, pueden cubrir toda una región (país o grupo de países). Estas redes se basan en tecnología celular y han aparecido como evolución de las redes de comunicaciones de voz. Éste es el caso de las redes de telefonía móvil conocidas como 2,5G o 3G. En comunicaciones móviles de voz se les llama 1G (primera generación) a los sistemas analógicos (tipo NMT o AMPS), 2G a los digitales (tipo GSM o CDMA), 2,5G a los digitales con soporte para datos a alta velocidad (tipo GPRS, IS-95B o EDGE) y 3G o tercera generación a los nuevos sistemas de telefonía celular con capacidad de gran ancho de banda. Este último es el caso de UMTS (*Universal Mobile Telecommunications Service*) o CDMA-2000 (*Code Division Multiple Access*), por ejemplo.
- Otras: Redes inalámbricas de área regional (WRAN), están constituidas por una integración de las redes WLAN y WMAN, bajo el estándar IEEE 802.22 [9]. Básicamente, son un proyecto de solicitud de autorización (PAR) aprobadas por el IEEE-SA *Standards Board* cuya función es desarrollar un estándar para la radio cognitiva basada en las capas PHY/MAC/(interfaz de aire), para el uso de una licencia exenta de los dispositivos, para no interferir en el espectro que se asigna a la emisión del servicio de TV.

1.2.1 Redes inalámbricas de área corporal (WBAN)

La cuestión básica de estas redes es salvar la barrera entre la persona y el entorno informático mediante interfaces eficientes “hombre electrónica”. Conseguir mayores grados de integración entre los usuarios y los servicios implica la existencia de conexiones entre los dispositivos electrónicos y de comunicaciones que el usuario lleva en su propia ropa o se encuentra en el entorno circundante. Este tipo de redes constituye lo que se ha denominado Redes de Área Corporal y que se conoce con el acrónimo BAN (*Body Area Network*) [4]. Aunque no se dedicará un tema específico a este tipo de redes, se desarrollará un poco más que el resto en este apartado, ya que se considera un tipo de red de interiores por su pequeño alcance. Sin embargo, tanto las WPAN como las WLAN se extenderán más detalladamente en los siguientes temas dedicados a ellas, respectivamente.

Es conveniente que las BAN soporten la interoperabilidad entre diferentes dispositivos diseñados por diferentes fabricantes por lo que se trabaja en la normalización de protocolos de comunicación comunes.

Los dispositivos que pueden trabajar con esta tecnología pueden ser equipos complejos como un teléfono celular o un componente simple como un auricular o un visor adaptado a unas gafas y se comunican normalmente a distancias de 1 ó 2 metros. El uso más extendido que se le está dando a esta tecnología es en el ámbito de la salud y sanidad, estos dispositivos serán diferentes dependiendo si es para pacientes o para profesionales y si su utilización es para un área quirúrgica, enfermería en planta o logística en una farmacia. En el caso de pacientes no es igual cuando se encuentra en un escenario de monitorización en hospital que para pacientes crónicos en su vida cotidiana.

Una WBAN típica consiste en unas cuantas plataformas de sensores baratos, ligeros y diminutos [5]. Cada plataforma tiene uno o más sensores fisiológicos (por ejemplo: sensores de movimiento, electrocardiógrafos, y electroencefalogramas. Un

ejemplo típico de este tipo de aplicación es la monitorización ambulatoria de la actividad del usuario. Los sensores pueden colocarse en el cuerpo como diminutos parches inteligentes, integrados en la ropa, o ser implantados bajo la piel o los músculos.

El éxito de los sistemas de monitorización sanitaria “transportables” depende crucialmente de la integración de sistema. La integración perfecta de los sistemas de monitorización sanitaria personales determinará su aceptación y conformidad por parte del usuario. Al mismo tiempo, la integración de mediciones y eventos dentro de registros y sistemas médicos sanitarios podrán ayudar a mejorar el servicio de estos profesionales.

Un ejemplo típico del flujo de información en un sistema jerárquico queda representado en la Figura 2. Un conjunto de sensores está integrado en una WBAN y se comunica con el servidor principal o bien directamente a través de la pasarela de internet. Toda la información es almacenada en un Informe Electrónico Médico (*Electronic Medical Record: EMR*) o servidor de emergencia a través de internet. Se pueden explotar las distintas partes del espacio de diseño precio/energía/prestaciones mediante el uso de distintas configuraciones.

En el nivel más bajo de la jerarquía están los sensores fisiológicos inteligentes integrados en una WBAN. El estado tecnológico actual permite nodos de sensores inteligentes con microcontroladores (sistemas en un chip) altamente integrados, permitiendo las siguientes características de plataformas de sensores:

- Capacidad de procesamiento: 1-10 MIPS (Millones de instrucciones por segundo)
- Memoria RAM: 1-10 KB
- Memoria Flash en el chip (almacenamiento de datos del programa y secundarios): 10-100 KB
- Periféricos Integrados (temporizadores, contadores, PWM, A/D, D/A, y controladores de comunicación)
- Almacenamiento (externo) de Memoria Flash de 1 MB
- Bajo consumo de energía (1-10 mW para procesamiento, menos de 100 μ W en modo reposo y de 20 a 50 mW durante la comunicación inalámbrica)

La memoria disponible y la capacidad de procesamiento de las plataformas de sensores comercialmente disponibles permiten, en tiempo real, el procesamiento de señales, la transmisión de resultados y la detección de sucesos para muchas aplicaciones de monitorización de salud. El flujo simbólico de datos de los sensores se representa como colas de mensajes (Figura 1). Primero, una plataforma de sensores almacena los mensajes no reconocidos y eventos en la memoria local (RAM) y/o en la memoria externa Flash. Esto supone una importante ventaja (de consumo y fiabilidad) de los sensores inteligentes frente a las generaciones anteriores de sistemas telemétricos de transmisión de señales en bruto.

Todos los mensajes que llegan desde los sensores son recogidos por el controlador de red y procesados en un servidor personal (SP). En algunas aplicaciones los sensores pueden hablar directamente con la pasarela de internet (por ejemplo, en la monitorización domiciliaria). Una aplicación de servidor personal puede correr sobre una PDA, un móvil o un ordenador personal. El controlador de red puede ser un dispositivo añadido o integrado en el servidor personal (por ejemplo teléfonos móviles con Bluetooth). El SP procesa los eventos de los sensores como mensajes individuales, almacena segmentos de señales sin tratar generadas por petición, y crea una sinergia de información desde los sensores individuales. Normalmente, todos los mensajes recibidos son guardados y transmitidos al servidor médico junto con mensajes

adicionales creados en el servidor personal. Esta información crea una nueva cola de mensajes y registros que provienen del SP (Figura 2).

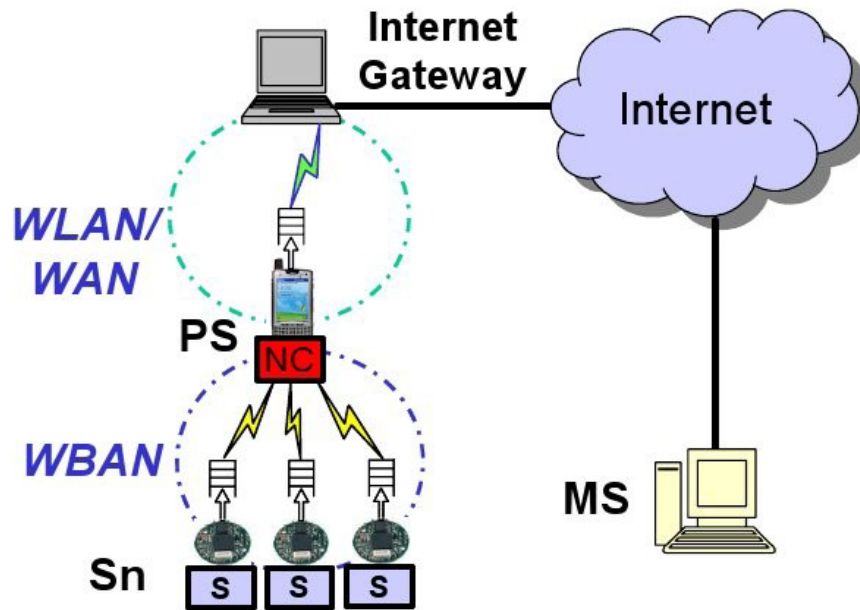


Figura 1.2: Sistema integrado WBAN

Las características del rendimiento del servidor personal supera normalmente a los sensores individuales por al menos un orden de magnitud. Así pues, el mantenimiento de la cola de mensajes en el SP para una transmisión fiable no debería ser un problema para la mayoría de los sistemas.

La comunicación entre el servidor personal y el interfaz de Internet se lleva a cabo mediante el uso de tecnologías WLAN y WAN, como el 802.11 WLAN, GPRS/GSM, UMTS y otras tecnologías de redes locales inalámbricas.

El procesamiento final de mensajes y eventos se ejecuta en el/los servidor/es médico/s. Es importante tener en cuenta que, debido a la comunicación intermitente y la retransmisión de mensajes en la jerarquía, el servidor médico tendrá que procesar mensajes no válidos. Por ello es necesario que cada evento o cadena de señales sin tratar tenga su fecha de registro. Todos los registros deben estar organizados para evitar la divulgación de la identidad del usuario.

1.2.2 Redes inalámbricas de área personal (WPAN)

En 1999 el IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) creó el grupo de trabajo 802.15 [6], dedicado específicamente al estudio de redes de área personal.

Las redes inalámbricas de área personal son conocidas en la literatura internacional como WPANs (*Wireless Personal Area Network*), y constituyen en la actualidad el desafío tecnológico en el escenario inalámbrico; la concepción de estas redes surge como una consecuencia natural del proceso evolutivo en términos de acercar la red al usuario y de integrar todos los servicios en base a conseguir una automatización total del entorno de forma que se obtenga un esquema de comunicaciones y de monitorización completo en base a la misma infraestructura, aquí aparece el concepto de convergencia real entre informática, comunicaciones y control,

que extiende el concepto de computación distribuida al usuario y modifica drásticamente el concepto tradicional de interfaz entre usuario y equipo comunicador/computador.

Un nuevo esquema WPAN conlleva que equipos de comunicación como teléfonos móviles o PDAs, de computación como ordenadores portátiles, de vigilancia o detección como sensores o cualquier otro tipo de equipo digital, se comuniquen entre sí en distancias cortas. Es decir, en un área de 10 metros que envuelve al usuario incluso en movimiento, se hace posible que el teléfono se comunique con un ordenador que, a su vez, se comunica con un PDA o con una cámara digital y que, además existan funciones de control sobre los diferentes equipos digitales que conforman el área que cubre la red (aparecen aquí la robótica, domótica, juguetes interactivos, identificación personal biométrica); que el teléfono pueda hablar a un laptop significa aquí que, por ejemplo, el correo electrónico que se recibe en un teléfono móvil se transfiere al ordenador portátil, estando situados uno en el bolsillo del usuario y otro en el maletín.

A todo esto aparece la posibilidad de acceso al omnipresente Internet de forma que se produce una nueva actuación en el entorno de IP móvil que se inscribe en lo que ya se conoce como generación 4G y que es de esperar que sobrepase rápidamente a 3G. Este nuevo enfoque constituye, desde un punto de vista conceptual el esquema por excelencia de tecnología inalámbrica por su carácter integrador, pluridisciplinar y por el desafío que presenta en términos de interoperabilidad (obviamente debido a que involucra una gran cantidad de equipos tradicionalmente diferentes).

Las expectativas en términos de mercado a un medio/largo plazo siguen siendo realmente importantes debido a la excelencia de la tecnología en términos de impacto socio-económico y a una involucración que se puede considerar masiva y realmente excepcional de la industria tanto de comunicaciones como de informática.

La concepción de este esquema de *networking* presenta un nivel de excelencia suficiente como para predecir que representa el futuro de la información aún cuando ese futuro aparezca algo más lejano que las predicciones iniciales; este nivel de excelencia se debe a su potencial en términos de automatizar de manera global, de forma que el usuario pueda acceder a cualquier servicio que conforma ese entorno de una manera transparente; es decir, sin la necesidad de conmutar de red/operador e incluso de equipo, se tiene así un concepto tecnológico universal que es lo que confiere ese enorme potencial.

De una forma resumida y no por orden de importancia, los retos del IEEE 802.15 aparecen en términos de conseguir:

1. Equipos con potencia extremadamente baja para evitar tener que recargar frecuentemente la batería.
2. De poco peso debido a que los equipos son portátiles y deben poder llevarse sin ningún esfuerzo para que la WPAN sea fiel a su concepción.
3. Bajos costos por temas de mercado.
4. Resolver el problema de las interferencias: la banda ISM (*Industrial Scientific Medical*) de 2,4 MHz donde funcionan las redes de área personal, es la utilizada por gran cantidad de equipos debido a que no se necesita licencia para trabajar en ella.

1.2.3 Redes inalámbricas de área local (WLAN)

Las redes de área local inalámbricas (WLANs) constituyen en la actualidad una solución tecnológica de gran interés en el sector de las comunicaciones inalámbricas de

banda ancha. Estos sistemas se caracterizan por trabajar en bandas de frecuencia exentas de licencia de operación, lo cual dota a la tecnología de un gran potencial de mercado.

Originalmente, las WLAN fueron diseñadas para el ámbito empresarial. Sin embargo, en la actualidad han encontrado una gran variedad de escenarios de aplicación, tanto públicos como privados: entorno de grandes redes corporativas, zonas industriales, campus universitarios, entornos hospitalarios, ciber cafés, hoteles, aeropuertos, medios públicos de transporte, entornos rurales como lo muestra la Figura 1.3. Incluso son ya varias las ciudades en donde se han instalado redes inalámbricas libres para acceso a Internet.

Básicamente, una red WLAN permite reemplazar por conexiones inalámbricas los cables que conectan a la red los PCs, portátiles u otro tipo de dispositivos, dotando a los usuarios de movilidad en las zonas de cobertura alrededor de cada uno de los puntos de acceso, los cuales se encuentran interconectados entre sí y con otros dispositivos o servidores de la red cableada.

Con las WLANs la red, por sí misma, es móvil y elimina la necesidad de usar cables, se establecen nuevas aplicaciones añadiendo flexibilidad a la red y lo más importante es incrementar la productividad y eficiencia en las empresas donde está instalada.

Un usuario dentro de una red WLAN puede transmitir y recibir voz, datos, vídeo dentro de edificios, entre edificios o campus universitarios e inclusive sobre áreas metropolitanas a velocidades de hasta 54 Mbps. La WLAN puede actuar como una extensión de una red cableada pudiendo ser ésta una red *Ethernet* o *Token Ring*.

Como dato de interés general, se puede añadir que, aunque el origen de las WLAN se remonta a la publicación en 1979 de los resultados de un experimento realizado por ingenieros de IBM en Suiza, consistente en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica, no es hasta el 1997 cuando aparece el estándar 802.11 [7] que se explicará más adelante.

Actualmente no se espera que las redes inalámbricas lleguen a reemplazar a las redes cableadas, pero si pueden ser alternativa para el acceso en determinadas circunstancias. Éstas ofrecen velocidades de transmisión mayores que las logradas con la tecnología inalámbrica, aunque con la revisión “n” del estándar 802.11 se pretende que esta diferencia se reduzca significativamente, pero tienen problemáticas asociadas a su instalación y conservación.

Las redes inalámbricas WLAN se diferencian de las convencionales *Ethernet* principalmente en la “Capa Física” y la “Capa de Enlace de Datos”. En la actualidad las redes WLAN operan exclusivamente en entornos de radio frecuencia en la banda ISM “*Industrial, Scientific and Medical*” (2,45 GHz) y 5 GHz.

Comparación entre las tecnologías WLANs					
Característica	802.11	802.11b	802.11a	802.11g	HiperLAN2
Espectro	2.4 GHz	2.4 GHz	5 GHz	2.4 GHz	5 GHz
Máxima tasa de transmisión	2 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Conexión	No-orientad o a conexión	No-orientado a conexión	No-orientado a conexión	No-orientado a conexión	Orientado a conexión

Encriptación	RC4 de 40 bits	RC4 de 40 bits	RC4 de 40 bits		DES, 3DES
Multicast	Sí	Sí	Sí	Si	Sí
Soporte de redes fijas	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet , IP, ATM, UMTS, FireWire , PPP
Selección de frecuencias	FHSS o DSSS	DSSS	OFDM portadora única	DSSS y OFDM	portadora única con selección dinámica de frecuencias
<p><i>FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum ATM: Asynchronous Transfer Mode OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing IP: Internet Protocol DES: Data Encryption Standard UMTS: Universal Mobile Telephone Service PPP: Point - Point Protocol</i></p>					

Tabla 1.1: Comparación entre las tecnologías WLANs

1.2.4 Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN)

Son redes que su cobertura abarca cientos de Km, a menudo se las trata como redes LAN extensas o redes WAN de menor tamaño; su uso se ha extendido para la interconexión de edificios, como muestra la siguiente figura:



Figura 1.3: Red WMAN

El estándar más significativo que tienen las WMAN es WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), quien presenta una velocidad de transmisión de más de 75 Mbps y usa bandas de frecuencias entre los 2 GHz y 66 GHz, permitiendo una arquitectura punto a multipunto.

WiMAX [8] es considerada como una alternativa de bajo costo para el reemplazo de cable MODEM y como una red de acceso inalámbrico operando en un centro de negocios en una ciudad principal. También pretende asegurar la interoperabilidad y así conseguir el éxito de la asociación WiFi, donde por fin se ha dispuesto de un único estándar internacional válido en todo el mundo.

1.2.5 Redes inalámbricas de área extensa (WWAN)

Las WWAN proveen cobertura a miles de kilómetros y permiten la interconexión de varios sistemas de comunicaciones ayudando a que ésta sea cada vez más globalizada.

Aunque originalmente la telefonía celular fue utilizada para la transferencia de voz, muy pronto se desarrollaron protocolos para poder transferir datos a través de esta tecnología inalámbrica siendo CDPD (*Celular Digital Packet Data*) el que provee la transmisión inalámbrica de datos digitales como Internet a través de telefonía celular.

CDPD provee transferencias hasta 14.4 Kbps si se emplea la técnica de acceso múltiple CDMA (*Code Division Multiple Access*), mientras que en TDMA (*Time Division Multiple Access*) está limitada a 9.6 Kbps. También CDPD se utiliza para transmitir mensajes breves a PDAs y correo electrónico a teléfonos celulares.

Un protocolo que ofrece acceso a Internet es WAP (*Wireless Access Protocol*). Con WAP son posibles las comunicaciones de datos entre redes inalámbricas a celulares y otros dispositivos portátiles independientemente de sistemas operativos y protocolos.

Las comunicaciones inalámbricas también se pueden dar vía satélite aprovechando la ventaja que pueden penetrar áreas remotas donde otros medios de transmisión serían imposibles de llegar. Pueden dar información hasta en una isla a miles de kilómetros de distancia. Quizás este sea el medio inalámbrico más caro al principio, debido a que hay que comprar infraestructura costosa como las estaciones terrenas y pagar las altas mensualidades de ancho de banda a un proveedor satelital.

Pero también existen opciones satelitales mucho más económicas para usuarios residenciales o para pequeñas oficinas, como el servicio *DirecPC*.

1.3 Tecnologías y estándares inalámbricos

Hoy en día, existe en el mercado una gran cantidad de posibilidades para implementar una red inalámbrica, las cuales se agrupan en diferentes tipos de estándares y tecnologías. Cada una de estas tecnologías tiene sus propias características que la hacen adecuada para un tipo de aplicación u otra. De la misma forma, también existen distintas tecnologías aplicables al mismo tipo de uso y que coexisten debido a que han sido promovidas desde diferentes organismos de estandarización [10].

A continuación se describen las más significativas, y las que han logrado una mayor penetración en el mercado [2].

1.3.1 Bluetooth



Bluetooth es un enlace radio de corto alcance que aparece asociado a las Redes de Área Personal Inalámbricas (WPAN). Este concepto hace referencia a una red sin cables que se extiende a un espacio de funcionamiento personal con un radio de hasta 10 metros. Bluetooth trabaja en el rango de frecuencias de 2,402 GHz a 2,480 GHz (Banda ISM). Los terminales pueden estar en movimiento y no tener línea de vista entre sí; además, las velocidades de transmisión oscilan entre 720kbps y 1 Mbps. El estándar es un cruce entre las tecnologías DECT (*Digital European Cordless Telephone*) y el iRDA (*infra Red Data Association*). La principal aplicación del Bluetooth es la de conectar entre sí equipos informáticos y de comunicación portátil y móvil, como

ordenadores, PDAs, impresoras, ratones, micrófonos, auriculares, lectores de código de barras, sensores, displays, localizadores, teléfonos móviles y otros dispositivos de electrónica de consumo. El objetivo es que todos estos equipos se puedan comunicar e interoperar entre sí sin interferencias.



1.3.2 HomeRF

La idea de este estándar se basa en el teléfono inalámbrico digital mejorado (*Digital Enhanced Cordless Telephone*, DECT). Los creadores de este estándar pretendían diseñar un aparato central en cada casa que conectara los teléfonos y además proporcionar un ancho de banda de datos entre las computadoras.

HomeRF transporta voz y datos por separado, al contrario que protocolos como Wi-Fi que transporta la voz como una forma de datos. Trabaja a 2,4 GHz pero cuenta con un método de salto de frecuencia (SWAP) para no interferir con conexiones Bluetooth. Su alcance es de 50 metros aproximadamente. Cabe resaltar que el estándar *HomeRF* posee multitud de capacidades de voz (identificador de llamadas, llamadas en espera, regreso de llamadas e intercomunicación dentro del hogar).

	HomeRF	HomeRF2
Modulación	FSK	FSK
Banda de frecuencias	2,4 Ghz	2,4 Ghz
Tasa máxima	1,6 Mbps	1,6 Mbps
Canales	75 de 1 Mhz	15 de 5Mhz

Tabla 1.2: Características de HomeRF

1.3.3 UWB

UWB es una tecnología WPAN que permite transmitir paquetes de información muy grandes (480 Mbits/s) en distancias cortas, de unos pocos metros. Los dispositivos *wireless* USB actuales son implementados con UWB.

Esta tecnología difiere sustancialmente de las estrechas frecuencias de banda de radio (RF) y tecnologías “*spread spectrum*” (SS), como el Bluetooth y WI-FI. Además, usa un ancho de banda muy alto del espectro de RF para transmitir información. Por lo tanto, es capaz de transmitir más información en menos tiempo que las tecnologías anteriormente citadas.

Mientras que Bluetooth, WiFi, teléfonos inalámbricos y demás dispositivos de radiofrecuencia están limitadas a frecuencias sin licencia en los 900 MHz, 2.4 GHz y 5.1 GHz, UWB hace uso de un espectro de frecuencia recientemente legalizado. UWB puede usar frecuencias que van desde 3.1 GHz hasta 10.6 GHz: una banda de más de 7 GHz de anchura. Cada canal de radio tiene una anchura de más de 500 Mhz, dependiendo de su frecuencia central.

UWB se está estandarizando en tres diferentes IEEE estándares: IEEE 802.15.3a (actualmente rechazado) incluía la propuesta de OFDM, de la *Multiband OFDM Alliance* (MBOA) y la propuesta de secuencia directa (*Direct Sequence, DS*), IEEE 802.15.4a, incluye la propuesta de DS que fue aprobada para ratios de información bajos, y para el estándar IEEE 802.15.1 se está discutiendo la incorporación de UWB como capa física para Bluetooth.



1.3.4 Zigbee

ZigBee es una alianza sin ánimo de lucro de 25 empresas, la mayoría de ellas fabricantes de semiconductores, con la finalidad de promover el desarrollo e implantación de una tecnología inalámbrica bidireccional de bajo coste vía radio, para usarla en dispositivos de domótica, automatización de edificios (inmótica), control industrial, periféricos de PC o sensores médicos.

Los miembros de esta alianza justifican el desarrollo de este estándar para cubrir el vacío que se produce por debajo del Bluetooth. Tiene velocidades comprendidas entre 20Kbps y 250Kbps y rangos de 10 m a 75 m. Puede usar las bandas libres ISM de 2,4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (EEUU). Una red *ZigBee* puede estar formada por hasta 255 nodos (frente a los 8 de Bluetooth), los cuales tienen la mayor parte del tiempo el transceiver dormido con objeto de consumir menos que otras tecnologías inalámbricas.

Los módulos ZigBee están pensados para ser los transmisores inalámbricos más baratos producidos de forma masiva. Con un coste estimado alrededor de los 2 euros dispondrán de una antena integrada, control de frecuencia y una pequeña batería (dos pilas AA).

1.3.5 Wibree



Wibree es una nueva tecnología digital de radio interoperable para pequeños dispositivos. Su nombre proviene de dos palabras, *wi* de *wireless* y *bree*, un término del inglés antiguo que significa travesía o atajo. También es conocida como Bluetooth ULP (*Ultra Low Power*).

Wibree es la primera tecnología abierta de comunicación inalámbrica, que ofrece comunicación entre dispositivos móviles o computadores y otros dispositivos más pequeños (de pila de botón). Diseñado para que funcione con poca energía.

Permite la comunicación entre dispositivos de pila de botón y dispositivos Bluetooth, que opera en 2.4 GHz (una de las bandas ISM), con una tasa de transferencia de 1 Mbps en la capa física. Está basado en un microchip de bajo costo con opciones más amplias para su empleo en la industria; además tiene el mismo tamaño de los dispositivos Bluetooth, como los que se encuentra en un teléfono móvil. Tiene soporte para seguridad, ya que emplea el sistema de cifrado AES y esquemas de seguridad configurables.

Wibree se diseñó con dos alternativas:

- Wibree de implementación única; funciona para dispositivos que requieren un consumo bajo de energía, pequeños y de bajo costo, como relojes, sensores deportivos, teclados inalámbricos, etc.

- Wibree de implementación modo dual Bluetooth y Wibree; se diseña para su uso en dispositivos Bluetooth donde Wibree se integra con Bluetooth y BluetoothRF utilizando los dispositivos existentes dirigido especialmente a dispositivos como teléfonos móviles y computadoras personales.



1.3.6 IrDA

Infrared Data Association (IrDA) define un estándar físico para la transmisión y recepción de datos a través de rayos infrarrojos. No es una técnica muy usada ya que no pueden traspasar objetos opacos, por lo que necesitan que la comunicación tenga línea de visión directa. Esta tecnología fue pensada para redes personales de área reducida y ocasionalmente en algunas LANs específicas. No es práctico para redes de usuarios móviles por lo que únicamente se implementa en subredes fijas. Además, su uso no está regulado por ningún organismo. Su mayor aplicación es en ordenadores portátiles.

1.3.7 DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)

DECT (*Digital Enhanced Cordless Telecommunications*), o Telecomunicaciones Inalámbricas Mejoradas Digitalmente es un estándar ETSI para teléfonos inalámbricos digitales conectados a una base.

Un teléfono DECT es parecido a un terminal celular GSM, con la diferencia de que el radio de operación de los primeros es de 25 a 100 metros, mientras que GSM alcanza hasta los 10 kilómetros. Este estándar trabaja a 1'9Ghz y su velocidad de transferencia es de 32 Kbps; utiliza FDMA y TDD, mientras que la potencia emitida desde el dispositivo portátil, así como la base es de 100mW. Es comúnmente utilizado con propósitos domésticos y/o corporativos.

1.3.8 Familia IEEE 802.11 (WI-FI)



Por ser el sistema más extendido, llegando a ser un estándar de facto [1-1] para redes inalámbricas, y por ser además la tecnología que nosotros emplearemos en la realización de este proyecto, dedicaremos el siguiente capítulo a describirlo con todo detalle. A modo de preámbulo incluimos esta tabla resumen con los principales estándares de la familia y sus principales características.

Estándar	802.11a	802.11b	802.11g
Finalización	2002	1999	2003
Banda de frecuencias	5 Ghz	2,4 Ghz	2,4 Ghz
Tasa máxima	55 Mbit/s	11 Mbit/s	54 Mbit/s
Interfaz aire	OFDM	DSSS/FHSS	OFDM

Tabla1.3: Principales estándares de la familia IEEE 802.11

1.3.9 HiperLan (High Performance Radio LAN)



Es un estándar del ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) creado en 1997 con el objetivo de desarrollar velocidades de transferencia mayores que 802.11, de hasta 25Mbps. HiperLan es compatible con 802.11a, ya que trabaja a 5 GHz, reduciendo así el problema de interferencias que tiene la saturada banda ISM de 2.4GHz. Con HiperLan se busca conseguir WLANs de alta capacidad y baja movilidad en un entorno reducido que no supere los 50m.

1.3.10 HiperLan/2 (High Performance Radio LAN/2)



Es una variante de HiperLan que fue diseñada como una conexión inalámbrica rápida para muchos tipos de redes, por ejemplo, la red backbone de UMTS o redes ATM. También funciona como una red doméstica como HIPERLAN/1 pero incorpora toda una serie de características adicionales como son la orientación a conexión, QoS (*Quality of Service*, Calidad de Servicio), búsqueda automática de la frecuencia a utilizar (similar a los teléfonos móviles) y elevada velocidad de transmisión (puede llegar hasta 54 Mbps). Esta tecnología opera sobre la banda de frecuencia de los 5 GHz y utiliza el método de modulación OFDM al igual que ocurre con el estándar 802.11a, contando también con un radio de alcance similar.



1.3.11 WIMAX

WiMAX (del inglés *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas) es un estándar de transmisión inalámbrica de datos (IEEE 802.16) que proporciona accesos concurrentes en áreas de hasta 50 km de radio (WMAN) sin necesidad de visión directa con las estaciones base. Funciona por debajo de los 11 GHz y alcanza velocidades de hasta 70 Mbps.

Sus principales características son:

- Se obtiene mayor ancho de banda en distancias mayores (hasta 50 km) permitiendo por tanto mayores coberturas. Además no requiere de visión directa.
- Sistema escalable. El sistema está diseñado para que escale a varios cientos de usuarios cómodamente y además permite un uso flexible de frecuencias para poderse adaptar a cualquier tipo de legislación.
- Aporta mecanismos de QoS.

La gran expectación que ha creado este estándar se debe a que permite hacer un despliegue de cobertura en zonas metropolitanas, como, por ejemplo, ciudades.

1.3.12 Wibro (Wireless Broadband Technology)



Wibro es una tecnología de banda ancha inalámbrica de Internet desarrollada por la industria de telecomunicaciones coreana. Adapta TDD para duplexarse (separar transmisión y recepción), OFDMA para el acceso múltiple y 8.75MHz como ancho de banda del canal.

Esta tecnología fue ideada para superar la limitación de la velocidad del teléfono móvil y para agregar movilidad a Internet de banda ancha (por ejemplo, ADSL o LAN inalámbrica).

Las estaciones de la base WiBro ofrecerán un rendimiento de procesamiento de datos agregado de 30 a 50 Mbps/s y cubrirán un radio de 1,5 km. Detalladamente, proporcionará la movilidad para los dispositivos móviles hasta 120 km/h, comparado al LAN inalámbrico cuya movilidad es la velocidad de una persona en movimiento y la del teléfono móvil que tiene movilidad de hasta 250 km/h.

La tecnología también ofrecerá la movilidad del servicio. La inclusión de QoS (*Quality of Service*) permite que WiBro soporte el contenido del video y otros datos de manera confiable. Todas éstas, pueden ser las ventajas más fuertes sobre el estándar de Wimax.

1.3.13 GSM (Global System for Mobile Communications)



GSM (*Global System for Mobile communications*, Sistema Global para Comunicaciones Móviles) es probablemente uno de los mayores éxitos del mundo de las telecomunicaciones. Es difícil poner en duda esta afirmación cuando hay en el mundo más de 1.000 millones de personas usando esta tecnología y esto en el plazo de 10 años. GSM representa actualmente más del 80% de la telefonía móvil a nivel mundial y es sin duda el estándar más representativo de los conocidos como sistemas de Segunda Generación (2G). Fue creado en 1990 por el ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) con el objetivo de presentar una tecnología eficiente, con cobertura internacional y que permitiera obtener un mercado abierto y extenso como el actual.

Sus principales características son:

- Baja tasa de transferencia de datos y fax, tan sólo 9.6Kbps.
- Área de cobertura de la célula limitada por la distancia de reutilización de frecuencias, por lo que en áreas muy pobladas, con una alta densidad de células, esta área es pequeña.
- Gran movilidad, permitiendo en algunas circunstancias velocidades cercanas a los 200 Km/h.
- Dos zonas del espectro posibles para su uso. Inicialmente la banda de 900 MHz y posteriormente la de 1800 MHz, también conocida como DCS-1800.

Es interesante resaltar que las bandas en las que operan los sistemas de comunicaciones móviles, tanto en el caso de GSM como en el caso de sus estándares sucesores, son bandas con licencia.

1.3.14 GPRS (General Packet Radio System)



Es la llamada generación 2.5 de telefonía móvil, estándar intermedio entre la segunda y la tercera generación, GSM y UMTS respectivamente. Debido a problemas en la implantación de 3G, esta tecnología se ha mantenido un periodo relativamente prolongado ampliando sus objetivos iniciales.

Se caracteriza por:

- Red de conmutación de paquetes frente a la de conmutación de circuitos que utiliza GSM.
- Permite una compatibilidad total con GSM y su infraestructura, salvo por la adición de una cierta estructura paralela por la que va el tráfico de datos. Al contrario, UMTS requiere una estructura totalmente paralela en cuanto al despliegue de estaciones base, sin duda la parte más cara de la red.
- Su nuevo mecanismo para el tráfico de datos le permite alcanzar velocidades mayores que teóricamente oscilan entre los 54 y los 172 Kbps, pero que en la práctica son sensiblemente inferiores debido a las adversidades físicas y al despliegue de los operadores, que no buscan llegar a proporcionar estas velocidades.

1.3.15 UMTS (Universal Mobile Telephone Standard)



Es la denominada 3G. Se ha propuesto como el gran avance en la telefonía móvil aunque ha encontrado problemas importantes a la hora de su implantación, que han retrasado más allá de las previsiones su llegada.

El primero de ellos ha sido el importante desembolso que los operadores han tenido que realizar para la compra de licencias en muchos países (no es el caso de España). Este desembolso ha mermado sus economías y eso ha provocado una limitada solvencia para hacer frente a la implantación de una nueva infraestructura diferente a la utilizada para GSM y GPRS en todo lo que se refiere a las estaciones base y a las células. Otro problema, aunque de menor peso, es que los fabricantes han tenido dificultades, no con los terminales en sí mismos, sino con el desarrollo de baterías que dotaran a estos terminales de una autonomía suficiente.

Concretamente en España ha aparecido un tercer problema. Los ayuntamientos, que son los encargados de expedir las licencias para instalar antenas, empujados por la reciente psicosis que vincula a las antenas de telefonía móvil con el cáncer, se están mostrando muy reticentes, con lo que están contribuyendo a ralentizar el despliegue.

En cualquier caso esta tecnología ya está disponible en la actualidad y es muy probable que en pocos años se convierta en algo muy extendido gracias a los nuevos servicios que aparecen con ella. Sus principales características son:

- Objetivo primordial de obtener una conexión de alta velocidad para abrir a la telefonía móvil al campo de las aplicaciones multimedia de forma total.
- Utiliza CDMA en lugar de TDMA como forma de multiplexión de comunicaciones en un medio compartido. CDMA consiste en una multiplexión por código, de forma que cada usuario utiliza un tipo de código y tiene a su disposición todo el espectro. Esto nos proporciona una reutilización de frecuencias total.
- Aquí el tamaño de la célula no está marcado por la distancia de reutilización de frecuencias, que para GSM determinaba un área de celda estática. Aquí el factor

limitante es la relación señal a ruido. Ésta depende del número de usuarios en un instante. Cuando la estación base detecta un número demasiado elevado de usuarios, que están produciendo demasiada interferencia, reacciona disminuyendo su potencia de transmisión, dejando a algunos usuarios fuera y reduciendo el tamaño de la célula. A esto se le conoce como cell breathing.

- Su velocidad va desde 144Kbps a 2Mbps, y su rango de frecuencias está en torno a 2GHz.

1.3.16 HSDPA (High Speed Downlink Packet Access)

La tecnología HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) es la optimización de la tecnología UMTS y consiste en un nuevo canal compartido en el enlace descendente (*downlink*) que mejora significativamente la capacidad máxima de transferencia de información hasta alcanzar tasas de 14 Mbps. Nace como evolución de la tercera generación de telefonía móvil y se considera el paso previo antes de la cuarta generación 4G; es popularmente conocida como 3.5G.

1.3.17 HSUPA (High Speed Uplink Packet Access)

HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access* o Acceso ascendente de paquetes a alta velocidad) es una evolución de HSDPA que añade una mejora sustancial en la velocidad para el tramo de subida o uplink (desde el terminal de usuario hacia la red) llegando a tasas de transferencia de subida de hasta 7.2 Mbps. Se la conoce como 3.75G o 3.5G Plus y está definido en el estándar de 3GPP *Universal Mobile Telecommunications System Release 6*. Permitirá altas prestaciones de voz y datos que se traducirán en aplicaciones persona a personas mejoradas, tanto en el ámbito de negocios, como en el doméstico.

1.3.18 Otros estándares

Con una presencia muy limitada Open Air, opera en la frecuencia de 2.4Ghz y puede alcanzar velocidades de hasta 1.6 Mbps. En 1.996 se creó WLI Forum (*Wireless LAN Interoperability*) para apoyar la norma.

Swap es otro estándar inalámbrico, orientado al mercado doméstico. Está inspirado en la norma de telefonía inalámbrica DECT (*Digital European Cordless Telephone*) y en 802.11.

1.4 Ventajas de las redes inalámbricas

El uso de redes inalámbricas aporta una serie de ventajas que hacen que sean muy interesantes para los usuarios y al mercado, como son:

- **Fácil instalación:** Para la instalación de una WLAN en el entorno de trabajo no es necesario realizar ningún tipo de obra menor, como podrían ser las canalizaciones a lo largo de todo entorno de trabajo, necesarias en una red cableada. Un usuario se podrá conectar a la red sin más que añadir a su equipo

alguna, de las variedades de tarjeta de red disponibles en el mercado, consistentes en dispositivos Plug-and-Play, de fácil instalación y configuración.

- **Movilidad:** Los puestos de trabajo ya no están sujetos a que llegue un cable hasta ellos. Se puede tener acceso a la información en cualquier punto dentro de la zona de cobertura del punto de acceso. Cualquier estación de trabajo podría vagar libremente dentro de la zona cubierta por la red conservando su acceso, con todas las prestaciones. Además, el hecho de no usar cables permite a este tipo de redes llegar a puntos donde el acceso con cables sería imposible.
- **Escalabilidad:** Se le llama escalabilidad a la facilidad de expandir la red después de la instalación inicial. Podemos ajustar el tamaño de la red a nuestras necesidades, sin más que añadir puntos de acceso podemos aumentar el número de estaciones de trabajo permitidas. El añadir nuevos puntos de acceso es muy sencillo y podemos cubrir grandes áreas sin más que añadir puntos de acceso.
- **Reducción de costes:** Como no es necesario tender cables, podemos adaptar la red a cualquier entorno, así como establecer redes con carácter temporal. Una vez acabada su utilidad, se pueden reciclar todos los componentes para su próximo uso. El medio de transmisión, el aire, no es sensible al paso del tiempo, como ocurre con el cable. El cable es sensible a agresiones externas, tanto inevitables como maliciosas, necesita de un mantenimiento y tiene un tiempo de vida útil limitado. Sin embargo, el aire está libre de estos efectos. No se requieren obras de mantenimiento ni para ampliación o remodelado, lo cual se traduce en un ahorro económico.
- **Uso del espectro libre:** La mayor parte de las redes inalámbricas operan en un rango de frecuencias de uso libre, es decir, no están sujetas al pago de ningún tipo de licencias para su uso. El usar esta porción del espectro libre de cánones abarata considerablemente su uso.
- **Altas tasas de transmisión:** Actualmente se alcanzan tasas de transmisión que llegan hasta los 54 Mbps.
- **No representan un problema para la salud:** En los últimos años se ha extendido la preocupación por los efectos perniciosos de las radiaciones producidas por los equipos móviles en las personas, lo que ha derivado en un cierto rechazo a la instalación de este tipo de sistemas.

La Subsecretaría de Telecomunicaciones establece, para 2.45 GHz, que la máxima densidad de potencia admisible es de 10 W/m² en áreas de libre acceso para las personas. Estos niveles se cumplen sobradamente, ya que los transmisores no pueden radiar, por ley, más de 100 mW de PIRE. Se concluye que no constituyen un riesgo para la salud. Para 5 GHz tenemos una potencia máxima de 1W, y las transmisiones siguen siendo inocuas.

1.5 Inconvenientes de las redes inalámbricas

Como se ha visto anteriormente las redes inalámbricas ofrecen muchas ventajas, pero es inevitable considerar que también tienen algunos inconvenientes, como son:

- **Interferencias:** Por las características del medio usado, es inevitable darse cuenta que dispositivos que se encuentren en las cercanías de los nuestros, trabajando en esta banda, afectarán produciendo interferencias. Existe gran cantidad de dispositivos que trabajan en este segmento del espectro, hecho

lógico, dado que éste es de uso libre. Las interferencias pueden provenir de otras redes inalámbricas próximas, efecto que se puede prevenir gestionando conjunta y adecuadamente las redes. Estas redes vecinas pueden estar usando cualquier otra tecnología que opere en el rango de los 2.4 GHz. Entre estos grupos está la tecnología Bluetooth, usada para interconectar equipos a corta distancia y baja capacidad. Entre esta tecnología y las WLAN existen serios problemas de interferencias. A los sistemas de telecomunicaciones habría que añadir dispositivos que interfieren por trabajar en este rango de frecuencias tales como hornos microondas, algunos controles remotos de garajes, mandos a distancia y otros aparatos electrónicos. Ciertamente es que la mayoría de los fabricantes de estos productos tienen en cuenta este factor e intentan minimizar sus efectos. Así mismo, existen algunos radioenlaces que operan a la misma frecuencia que las redes inalámbricas y cuyo efecto, puede llegar a ser muy perjudicial, por lo que hay que tenerlos muy en cuenta a la hora de diseñar la red. Todas estas interferencias provocan que nuestra red inalámbrica no funcione a su más alto rendimiento.

- **Limitación en distancia:** El radio de acción de una red inalámbrica está limitado por la potencia máxima que se puede radiar según la legislación vigente. Para extender la zona de acción de la red sólo se puede añadir nuevos puntos de acceso o colocar repetidores.
- **Limitación en frecuencias:** Estamos confinados a un estrecho rango de frecuencias que son las de uso libre. Nuestro ancho de banda, a 2.4 GHz, está restringido a unos 100 MHz, que equivale a 3 canales. En la banda de 5 GHz, se tienen un total de 8 canales no solapados para Wi-Fi.
- **Seguridad:** Seguramente, este es el mayor inconveniente de las redes inalámbricas. Se debe diseñar nuestra red, con el nivel de seguridad más alto posible, para así evitar que usuarios no autorizados tengan acceso a nuestra red. Inicialmente, cuando se originaron los estándares de las redes inalámbricas no se prestó la suficiente atención a este concepto, quedando poco definido. En la actualidad, este es un tema prioritario, se trabaja en estándares que responden en exclusiva a la seguridad de las redes (como pueden ser el 802.11i ó el 802.1x).

1.6 El espectro electromagnético

El espectro electromagnético clasifica el conjunto de ondas existentes según su frecuencia y la magnitud de su longitud de onda. Se divide en diferentes zonas: las ondas de radiofrecuencia (con la mayor longitud de onda), las microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos ultravioleta y las ondas electromagnéticas con la menor longitud de onda: los rayos X y los rayos gamma. Por otro lado, el espectro electromagnético se divide según la cantidad de radiación electromagnética que una determinada sustancia puede emitir o absorber, de forma que se puede usar para identificar una sustancia de forma similar a una huella dactilar. La magnitud de la longitud de onda de una sustancia es la inversa del valor de la frecuencia; por tanto, cuando la longitud de onda es mayor, la frecuencia será menor y viceversa. La relación entre ambas se expresa en la siguiente fórmula matemática:

$$Frecuencia(KHz) = 300.000(km/s)/long.onda(m)$$

La siguiente figura muestra la organización del espectro electromagnético, con la longitud de onda y los límites de frecuencia de cada zona. La longitud de onda se expresa en metros y la frecuencia en Hertzios (Hz).

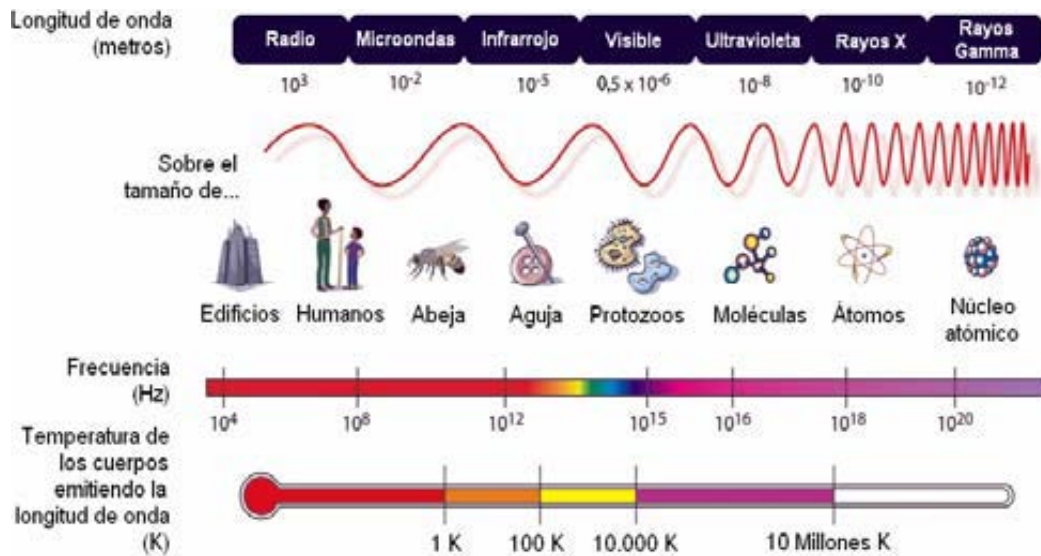


Figura 1.4: El espectro electromagnético

Una vez que se ha estudiado el espectro electromagnético, la siguiente tabla muestra las bandas de frecuencia en las que operan las tecnologías inalámbricas, lo que ayudará en el siguiente apartado a conocer dónde se pueden producir las interferencias entre ellas.

Tecnología inalámbrica	Bandas de frecuencias
<i>NFC</i>	13,56 MHz
<i>IrDA</i>	Espectro infrarrojo
<i>Bluetooth</i>	2,4 GHz
<i>WiBree</i>	2,4 GHz
<i>ZigBee</i>	2,4 GHz; 868 MHz en Europa y 915 MHz en EE.UU.
<i>WiMedia UWB</i>	3,1 a 10,6 GHz
<i>Wireless USB</i>	3,1 a 10,6 GHz
<i>HomeRF</i>	2,4 GHz
<i>DECT</i>	1,88 a 1,9 GHz en Europa y 1,92 a 1,93 GHz en EE.UU.
<i>Wi-Fi</i>	2,4 GHz
<i>WiMAX</i>	2 a 11 GHz (sin licencia) y 10 a 66 GHz (con licencia)
<i>WiBro</i>	2,3 GHz
<i>GSM</i>	900 MHz; 1,8 GHz y 1,9 GHz
<i>GPRS</i>	900 MHz; 1,8 GHz y 1,9 GHz
<i>UMTS</i>	2 GHz

Tabla 1.4: Relación de bandas de frecuencias

La Figura 1.5 representa la información mostrada en la tabla 4, donde se puede ver de forma más clara la disposición de las tecnologías inalámbricas en el espectro

electromagnético. El principal problema reside en las denominadas bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), como la de los 2,4 GHz, donde pueden estar operando hasta cinco tecnologías inalámbricas al mismo tiempo. Además, otros dispositivos como los hornos microondas, los sistemas de vigilancia de bebés o los mandos de videojuegos inalámbricos también pueden utilizarla para funcionar.

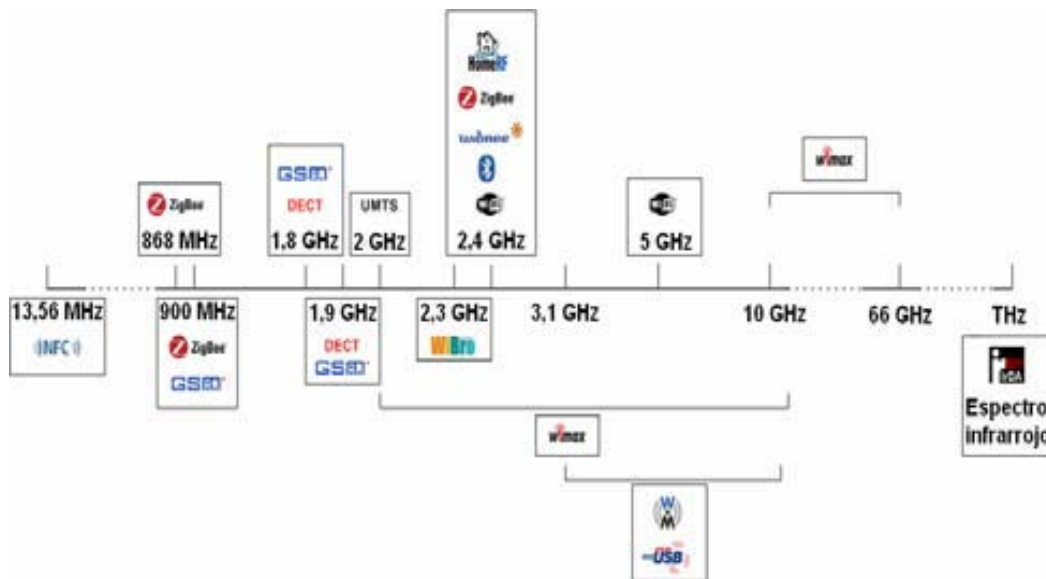


Figura 1.5: Esquema de solapamiento de frecuencias

1.6.1 Bandas ISM

Las bandas ISM son bandas reservadas internacionalmente para un uso no comercial. Éstas se corresponden con los rangos de frecuencias de 902-928 MHz, 2.400-2.483,5 MHz y 5.725-5.850 MHz y fueron definidas por la ITU en el artículo 5 de las Regulaciones de Radio, concretamente en los puntos 5.138 y 5.150. Su uso es abierto sin necesidad de licencia gubernamental, respetando las regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida. La tecnología Wi-Fi, Bluetooth, WiBree, ZigBee y HomeRF son ejemplos de tecnologías que usan estas bandas de licencia libre.

Otros dispositivos utilizan también estas bandas, como los hornos microondas, los abridores de puertas de garaje, los sistemas de vigilancia de bebés o los teléfonos inalámbricos en EE.UU. y América del Sur.

1.6.2 Espectro ensanchado

El espectro ensanchado es un método de transmisión de datos en el cual la información de interés se distribuye sobre un ancho de banda mucho mayor que el convencional, usando un nivel muy bajo de potencia y un alto nivel de protección de interferencias. Para ello, la información no se transmite usando una única frecuencia o canal, sino que usa toda la banda de frecuencias disponible, con lo que se minimizan las posibilidades de que la frecuencia de operación coincida con las de otros dispositivos que puedan estar activos en el mismo instante. Existen dos variantes de este método: *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) y *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS).

1.6.3 Espectro ensanchado por salto de frecuencia

El FHSS fue el primer método de espectro ensanchado. Consiste en emitir una señal sobre una serie de frecuencias aleatorias, saltando de una frecuencia a otra de forma síncrona aproximadamente unas 1.600 veces por segundo. Por tanto, se utiliza toda la banda de frecuencias disponible y no una única frecuencia o canal (*Hopping Pattern*). Esta transmisión ofrece ventajas de seguridad y minimiza la posibilidad de la generación de interferencias debido al cambio de canal. El estándar IEEE 802.11 es uno de los más importantes que usan este método, aunque la tecnología que sobresale es Bluetooth, que utiliza la banda de frecuencia libre de los 2,4 GHz, organizada en 23 frecuencias con un ancho de banda de 1 MHz cada una.

A continuación se presentan las tres principales ventajas del método FHSS:

1. Las señales son altamente resistentes al ruido y a las interferencias.
2. Las señales son difíciles de interceptar. Una transmisión de este tipo se percibe como un ruido de corta duración o como un incremento en el ruido para cada dispositivo que no esté usando la secuencia enviada por el emisor.
3. Este tipo de transmisiones pueden compartir una banda de frecuencias con muchos tipos de transmisiones inalámbricas simultáneas y una mínima interferencia.

1.6.4 Espectro ensanchado por secuencia directa

A diferencia de FHSS, DSSS es un método de transmisión de datos que no necesita enviar la información a través de varias frecuencias. Añade bits adicionales a los paquetes de información enviados al receptor, que es el único que conoce el algoritmo de estos bits y es capaz de descifrar los datos. Estos bits adicionales permiten a DSSS transmitir información a una velocidad de 10 Mbps y a una distancia máxima entre dispositivos de 150 m. Una de las tecnologías que sobresalen usando este método es Wi-Fi (IEEE 802.11).

1.6.5 Salto de frecuencia adaptativo

Otro método para minimizar las interferencias entre dispositivos inalámbricos es el denominado Salto de Frecuencia Adaptativo (AFH) que, aunque no se engloba dentro de los métodos de espectro ensanchado, sigue en parte su misma filosofía. Utiliza la frecuencia disponible dentro del espectro detectando los dispositivos activos y descartando las frecuencias que están utilizando. Una vez localizada la porción del espectro que puede ser usada, su comportamiento es similar al de FHSS. Este salto adaptativo permite unas transmisiones más eficaces dentro del espectro, de forma que se mejora el funcionamiento del dispositivo, incluso si hay más de una tecnología inalámbrica funcionando a la vez.

1.7 Modelo de interferencias

La continua expansión de las tecnologías inalámbricas y la utilización del espectro de radiofrecuencia hace que se presente un problema unido al uso de estas tecnologías: las interferencias, que pueden producir efectos negativos sobre el

rendimiento de las redes inalámbricas. En este apartado se demuestra la influencia entre las tecnologías inalámbricas más extendidas y los dispositivos inalámbricos cuando se encuentran funcionando en el mismo entorno, haciendo hincapié en los entornos de interiores, mostrando las variaciones producidas en su rendimiento.

Los resultados obtenidos en las pruebas experimentales permiten comprobar cómo con un horno microondas o con un sistema de vigilancia de bebés puede ponerse en peligro el rendimiento de la red corporativa de una organización o la red doméstica de cualquier hogar donde los dispositivos inalámbricos son ya muy abundantes.

1.7.1 Definición de interferencia

El término interferencia presenta diversas acepciones, dependiendo del contexto en el que se utilice:

- En telecomunicaciones y áreas afines, es cualquier proceso que altera, modifica o destruye una señal en el canal existente entre el emisor y el receptor.
- En mecánica ondulatoria, es el resultado de la superposición de dos o más ondas, de forma que se crea un nuevo patrón de ondas.

En electromagnetismo, es la perturbación sobre cualquier circuito eléctrico causada por la radiación electromagnética proveniente de una fuente externa. Se conoce también como *EMI (ElectroMagnetic Interference)* o *RFI (Radio Frequency Interference)*.

El Principio de Superposición de Ondas establece que la magnitud del desplazamiento ondulatorio en cualquier punto medio es igual a la suma de los desplazamientos de todas las ondas presentes en ese mismo punto. De este modo, si dos ondas se encuentran desfasadas, se interferirán destructivamente resultando una nueva onda de menor amplitud, como se puede observar en la Figura 6. En el contexto de las tecnologías inalámbricas, se pueden producir interferencias si utilizan las mismas frecuencias o la misma área del espectro electromagnético (canales).

Los materiales existentes en el entorno en el que se encuentran funcionando las tecnologías inalámbricas pueden influir sobre la comunicación.

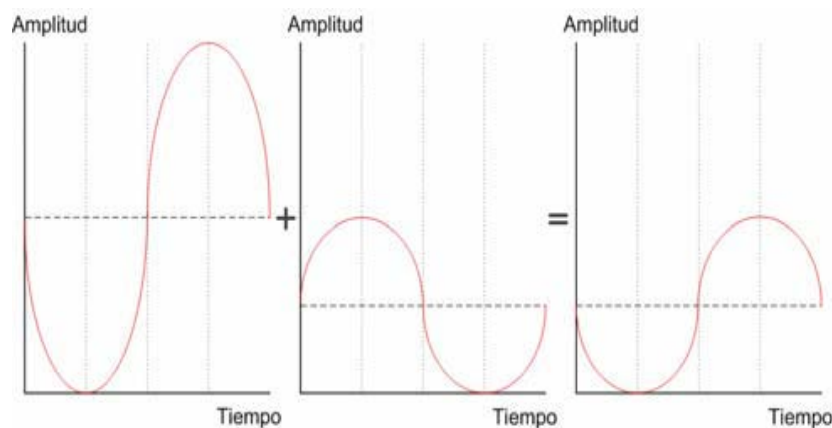


Figura 1.6: Interferencia de dos ondas desfasadas

1.7.2 Estudio experimental de las interferencias

En este apartado se muestran los resultados obtenidos en un estudio de investigación desarrollado por miembros del Grupo de Investigación GITACA de la Universidad de Extremadura, a través del proyecto “Estudio analítico y evaluación de los efectos entre tecnologías de comunicaciones inalámbricas” [11].

El objetivo principal de esta investigación es obtener resultados fundamentados que permitan conocer el nivel de impacto existente entre las diferentes tecnologías de comunicaciones inalámbricas. Además, se pretende conocer qué tecnologías o dispositivos inalámbricos son más propensos a producir interferencias y disminuir el rendimiento de las redes. Para conseguirlo, se ha utilizado un software que calcula el aumento o caída de rendimiento de las redes inalámbricas cuando se producen interferencias causadas por otros dispositivos. También ha sido necesario realizar un estudio completo de las características de las tecnologías inalámbricas, como el alcance, el *throughput* (volumen de información que fluye en la red inalámbrica) y la frecuencia, así como un estudio del espectro electromagnético con sus diferentes regiones y las zonas en las que estas tecnologías operan.

En la siguiente figura se puede observar lo que puede ser un escenario general del ámbito en el que se han realizado las pruebas. En ella se observa una situación cotidiana que se puede dar hoy en día tanto en domicilios como en organizaciones: se trata de un domicilio de tres plantas con acceso a Internet y un punto de acceso Wi-Fi que proporciona cobertura tanto en el interior como en los exteriores más cercanos. De este modo, las personas que vivan en una casa como ésta pueden establecer simultáneamente una conexión Wi-Fi, enviar un archivo vía Bluetooth desde un teléfono móvil a un Pocket PC o escuchar música con los auriculares Bluetooth. Por otro lado, también pueden activar un sistema de vigilancia de bebés para tener lo controlado mientras duerme en el piso superior, jugar con la videoconsola usando un mando inalámbrico o utilizar el horno microondas.

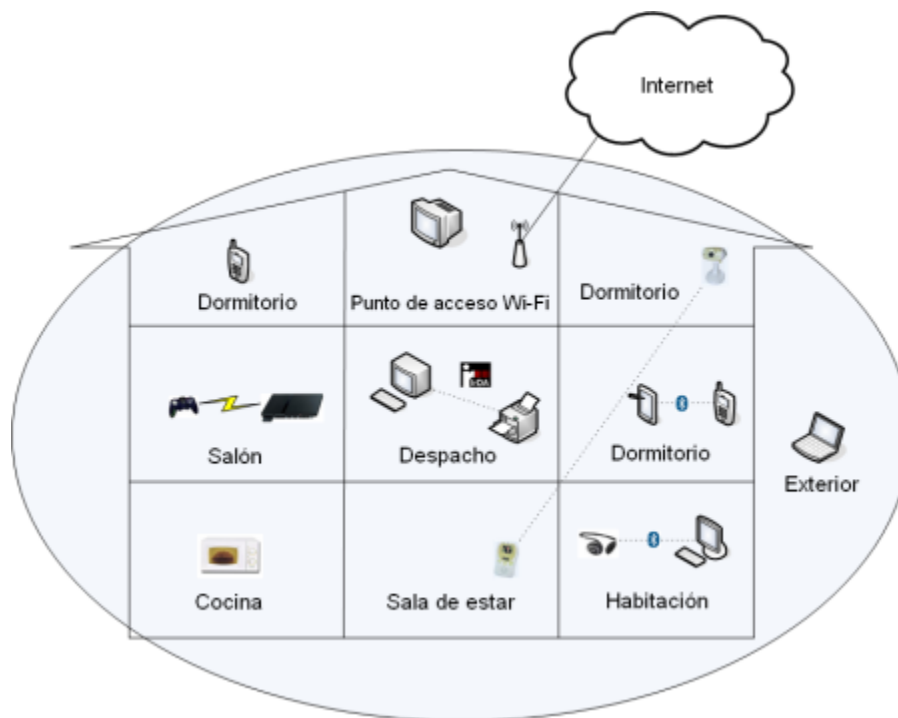


Figura 1.7: Ejemplo de domicilio típico

1.7.2.1 Entorno de las pruebas realizadas

El lugar donde se han realizado las pruebas es el Laboratorio de Ingeniería Telemática, situado en la Escuela Politécnica de Cáceres, en la Universidad de Extremadura. Se ha medido el entorno de radiofrecuencia en dicho emplazamiento detectando los dispositivos activos, la potencia de las señales, el nivel de las señales de interferencias, la utilización de los canales, etc. A esta situación la denominamos *estado inicial* y su esquema se muestra en la Figura 8.

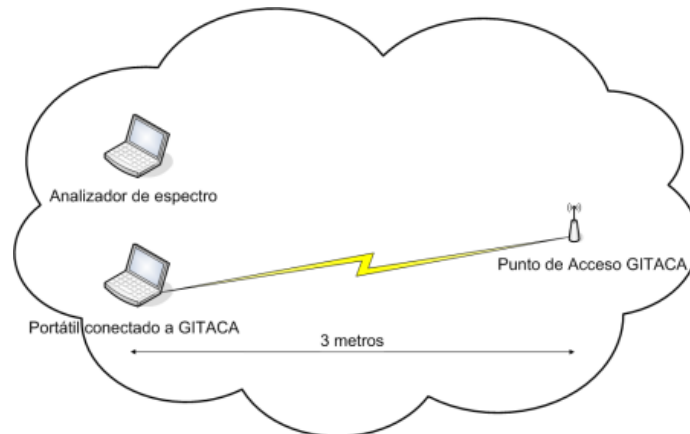


Figura 1.8: Estado inicial del entorno de pruebas

Además del punto de acceso existente en el laboratorio, existen otros puntos de acceso que pertenecen a otras redes inalámbricas cercanas, de tal forma que deben ser consideradas a la hora de mostrar las conclusiones oportunas.

1.7.2.2 Tipos de pruebas

Se han realizado cuatro tipos de pruebas en este estudio, para las cuales se explican las rutas entre el origen y el destino:

1. Descarga de un archivo desde el servidor de Rediris usando el protocolo FTP.
2. Descarga del mismo archivo usando el protocolo HTTP desde el servidor de patanegra, situado en el laboratorio donde se han llevado a cabo las pruebas.
3. Descarga del mismo archivo usando el protocolo FTP desde el ordenador de Campus Ubicuo, situado también en el mismo laboratorio y conectado a la red de forma inalámbrica.
4. Transmisión de un archivo de video usando el protocolo RTP entre dos ordenadores situados en el interior del laboratorio, ambos conectados a la red de forma inalámbrica. La ruta de las dos últimas pruebas es la misma.

Las cuatro pruebas se han realizado para cada uno de los siguientes dispositivos fuentes de interferencias: -Horno microondas. -Transferencia de un archivo vía Bluetooth. -Auriculares Bluetooth conectados al ordenador. -Sistema de vigilancia de bebés. -Mando de videojuegos inalámbrico. En otras palabras, se introduce una fuente

de interferencias para medir cómo afecta al rendimiento de la red inalámbrica del laboratorio. Para obtener datos fiables y coherentes, todas las pruebas se han realizado siguiendo la misma metodología:

1. Con el analizador de espectro se obtienen los valores de señales de radiofrecuencia que un determinado dispositivo produce en un entorno donde no hay actividad alguna.
2. Tras conocer estos valores, situamos el punto de acceso del laboratorio en el mismo canal de operación que el del dispositivo generador de interferencias.
3. A continuación se inicia una nueva captura utilizando la extensión de software Wireshark que hemos desarrollado.
4. Tras unos segundos comienza la descarga del archivo o la transmisión de video, dependiendo de la prueba.
5. Después de un tiempo de 30 segundos, se activa la fuente de interferencias (horno microondas, dispositivo Bluetooth, mando inalámbrico, etc.) para obtener el efecto sobre el rendimiento de la red inalámbrica. Mientras tanto se continúa con la descarga del archivo o la transmisión de video.
6. Durante unos instantes se mantiene el dispositivo activo, para posteriormente desactivarlo y continuar con la prueba.
7. Por último, la captura termina y se analizan los datos obtenidos.

1.7.2.3 Resultados obtenidos

En este apartado se muestran los resultados obtenidos para cada una de las fuentes de interferencias mencionadas anteriormente. En primer lugar, se analiza la interferencia producida por el horno microondas, y posteriormente se muestran los resultados de los demás dispositivos, obtenidos de forma similar.

En la Figura 1.9 se puede observar el esquema de la situación existente en el laboratorio cuando se activa un horno microondas en su interior, y la Figura 1.10 muestra la gráfica proporcionada por el software correspondiente a la descarga de un archivo desde el servidor del laboratorio (patanegra).

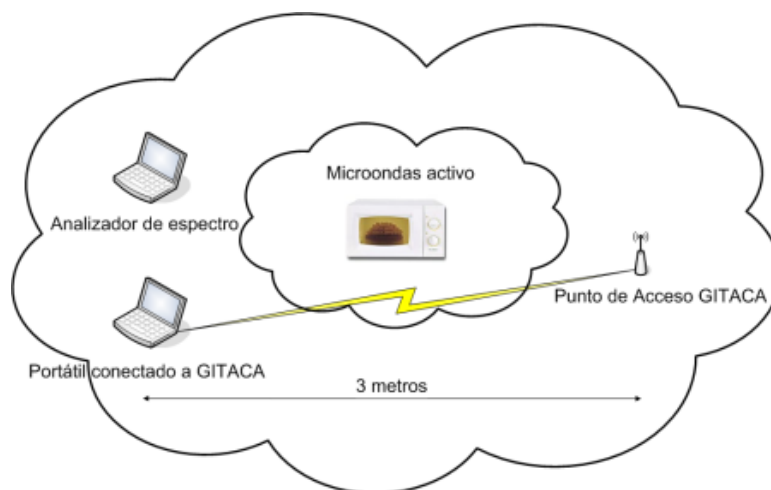


Figura 1.9: Entorno de pruebas con un horno microondas activo

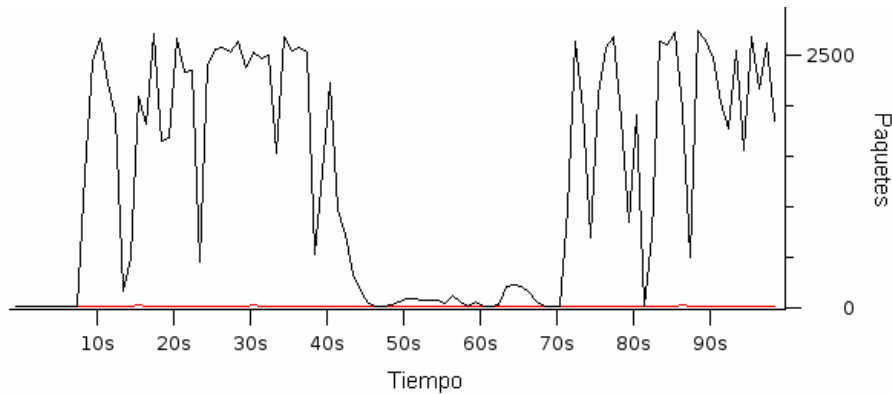


Figura 1.10: Gráfica de rendimiento de una descarga con el horno microondas activo

Se puede observar que existen tres zonas claramente diferenciadas: un primer intervalo que comprende desde el inicio de la captura hasta el segundo 40, durante el cual, la línea correspondiente al *throughput* TCP indica que se transmiten alrededor de 2.500 paquetes por segundo; sin embargo, cuando el horno microondas se activa, el *throughput* disminuye considerablemente, transmitiéndose muy pocos paquetes por segundo o incluso ninguno en algún instante. Este segundo intervalo dura 30 segundos y termina cuando el horno microondas se apaga (segundo 70). Después de este instante, el *throughput* vuelve a crecer otra vez y alcanza valores similares a los obtenidos antes de que el dispositivo se activase.

La Figura 1.11 muestra esta situación desde otro punto de vista. En esta nueva gráfica se muestra una línea que indica los paquetes transmitidos a lo largo del tiempo de forma acumulada. Durante el primer intervalo, la cantidad de paquetes transmitidos crece siguiendo una función lineal; el segundo intervalo comienza cuando el horno microondas se activa, tiempo durante el cual apenas se transmiten paquetes. Una vez que éste se apaga, la gráfica vuelve a crecer de modo más o menos uniforme, de forma similar al primer intervalo.

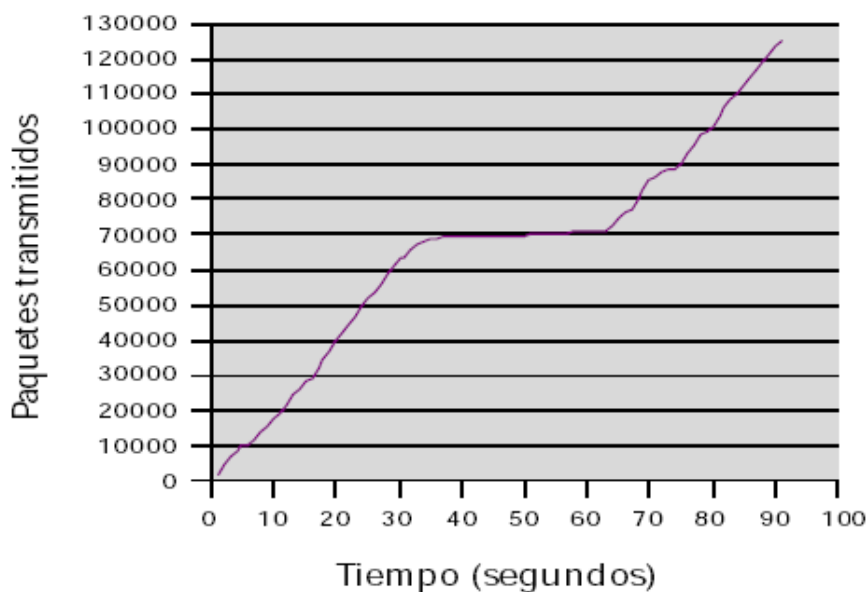


Figura 1.11: Gráfica acumulada de la descarga cuando el horno microondas está activo

Con todos estos datos se puede llegar a la conclusión de que la influencia que ejerce un horno microondas sobre una red inalámbrica donde ambos dispositivos utilizan el mismo canal, hace que se produzca una caída de rendimiento en la red de un 80%. La Figura 1.12 muestra el porcentaje de caída de rendimiento en las pruebas en las que se utiliza el horno microondas como fuente de interferencias.

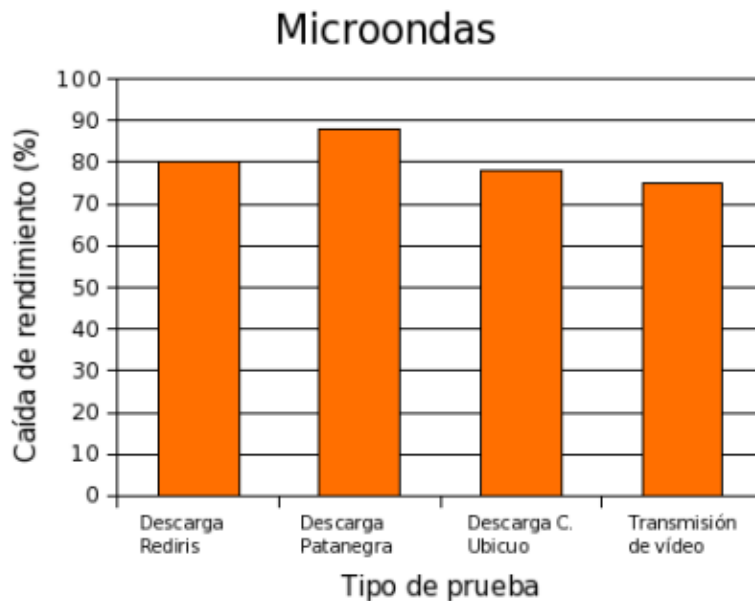


Figura 1.12: Caída de rendimiento provocada por la introducción de un horno microondas

La tabla 1.5 muestra los datos de la Figura 1.12 repetida para otros tipos de dispositivos, indicando la caída de rendimiento de la red inalámbrica en cada caso.

Prueba \ Dispositivo	Descarga Rediris	Descarga Patanegra	Descarga C. Ubicuo	Transmisión video RTP
Horno microondas	80%	88%	78%	75%
Transferencia Bluetooth	50%	50%	30%	0%
Auriculares Bluetooth	0%	0%	0%	0%
Vigilabebés	100%	100%	100%	100%
Mando inalámbrico	33%	50%	50%	0%

Tabla 1.5: Porcentaje de caída de rendimiento de la red inalámbrica por prueba

Se observa que la mayor caída de rendimiento es producida por el sistema de vigilancia de bebés (100%), seguida por el horno microondas (en torno al 80%). Por otro lado, la prueba realizada con los auriculares Bluetooth no afecta al rendimiento de la red inalámbrica, y la llevada a cabo con el mando de videojuegos inalámbrico afecta a las pruebas con tráfico TCP (alrededor de un 50%), pero no a la transmisión multimedia vía RTP. Con esto queda demostrado que las diferentes tecnologías y dispositivos

inalámbricos influyen entre sí, limitando su rendimiento en mayor o menor medida dependiendo del tipo de tráfico y de los demás elementos que se encuentren funcionando en el mismo entorno.

La principal conclusión a la que se llega es el problema inducido por el efecto de las interferencias entre las tecnologías inalámbricas y la forma en que transmiten utilizando el medio, empleando para ello las bandas ISM. Los resultados obtenidos deberían ser tenidos en cuenta por administradores de red de organizaciones y también en el uso doméstico para evitar una posible disminución de rendimiento en las redes inalámbricas. Por otro lado, los fabricantes eligen su propia porción del espectro de radiofrecuencia para la implementación de sus dispositivos y algunas veces es posible que dos dispositivos del mismo fabricante operen en frecuencias diferentes, de forma que es más difícil intentar evitar la existencia de interferencias entre ellos. Además, es necesario decir que las pruebas llevadas a cabo en este estudio se han realizado en un entorno reducido, no excesivamente cargado de señales de radiofrecuencia. De este modo, se puede extrapolar a un edificio de oficinas o al centro neurálgico de una gran ciudad, donde las bandas de frecuencias están más cargadas debido a la cantidad de dispositivos existentes.