

2. Tecnologías Inalámbricas

En la actualidad, el número de tecnologías inalámbricas utilizadas en los sistemas de localización para discapacitados visuales es muy elevado. Los sistemas pensados para exteriores se diferencian de los interiores. En los primeros, el sistema de posicionamiento global, conocido por sus siglas en inglés GPS (Global Positioning System), se ha establecido como el estándar de referencia debido a la precisión que es capaz de conseguir cuando el receptor tiene visión directa con varios satélites de forma simultánea.

No obstante, para localización y posicionamiento en interiores, la señal GPS carece de utilidad; puesto que el techo de los edificios así como las paredes consiguen apantallar la señal y, por tanto, el receptor no es capaz de sincronizarse con la red de satélites y brindar una lectura fiable de la posición.

A la hora de transmitir datos, se ha recurrido a muchas tecnologías inalámbricas como puede ser ZigBee, Bluetooth o Wi-Fi. Cada una de ellas presenta una serie de ventajas e inconvenientes que las hacen tener mayor o menor validez. En consecuencia, la elección tecnológica deberá depender de los requisitos de la aplicación en concreto, es decir, se debe hallar una relación de compromiso entre el precio, el consumo de energía y el ancho de banda que es capaz de brindar.

A continuación veremos brevemente las diferentes tecnologías implicadas en varios proyectos a fin de estimar y justificar el uso de una de ellas.

1.1. Bluetooth

Se corresponde con un estándar de comunicaciones inalámbricas basado en radiofrecuencia, de bajo coste y bajo consumo energético. Originariamente, en 1994, Ericsson lo desarrolló como un mecanismo alternativo que permitiese sustituir paulatinamente los enlaces cableados de diversos periféricos. No obstante, las características y versatilidad que presenta Bluetooth han hecho que se pueda utilizar en una gran cantidad de situaciones diferentes, como pueden ser el establecimiento de conexiones entre dos terminales móviles inteligentes como puedan ser una PDA o un teléfono móvil, conexionado de periféricos o dispositivos de audio.

Como se ha mencionado anteriormente, Bluetooth nace de la mano de Ericsson en 1994 junto con otras grandes compañías del sector tecnológico como son Intel, IBM, Nokia y Toshiba. Este conjunto de multinacionales constituyeron en 1998 el Bluetooth Special Interest Group, organismo que se encarga de gestionar y desarrollar las distintas versiones del núcleo de Bluetooth. Más tarde, en 1999, se unirían empresas de la talla de Microsoft, 3Com o Agilent. El trabajo conjunto de los diferentes miembros del Bluetooth SIG permitió una rápida aceptación por parte de los fabricantes; así como la compatibilidad entre dispositivos de los diferentes fabricantes.

Este hecho, provocó que las redes Wireless Personal Area Network (WPAN) basadas en Bluetooth estuviesen reguladas por el IEEE bajo la denominación 802.15.

Las principales características de esta forma de comunicación son:

- Opera en la banda libre de los 2,4 GHz por lo que no necesitamos adquirir ninguna licencia de emisión.
- Tiene una capacidad máxima de transmisión de hasta 3 Mbps.
- Implementa diversos mecanismos de ahorro energético de forma que el dispositivo no siempre va a consumir la misma potencia con el consiguiente ahorro energético en la batería del dispositivo.
- Posee un precio económico que permite implementarlo en casi cualquier dispositivo sin encarecerlo desmesuradamente. Un sistema Bluetooth empujado tiene un precio cercano a 20€ la unidad.
- Alcance de hasta 100 metros en función de la potencia de emisión que posea el transmisor Bluetooth.
- No obstante, se corresponde con protocolo de comunicaciones cuyo uso queda restringido para enlaces punto a punto, puesto que el sistema de establecimiento de conexiones hace difícil poder realizar redes punto-multipunto. Esto se debe a que en un principio estaba destinado para sustituir a los enlaces establecidos mediante un cable físico.

1.2. ZigBee

ZigBee se corresponde con una especificación global creada por un consorcio de múltiples marcas destinadas a la venta de sistemas de control inalámbrico denominados ZigBee Alliance. Dicha especificación se basa en el estándar 802.15.4 definido por el IEEE donde se especifica la capa física y de enlace del protocolo. En cuanto a los niveles superiores, la ZigBee Alliance se encarga de establecer el conjunto de reglas que deben cumplir las capas de red, aplicación, el framework de aplicación, los perfiles y los mecanismos de seguridad.

La idea principal sobre la que se ha desarrollado ZigBee ha sido la facilidad a la hora de implementarlo en un sistema de control, o lo que es lo mismo, se busca que de una manera sencilla y rápida se pueda desarrollar un sistema robusto y duradero fácilmente integrable en una red inalámbrica destinada a la supervisión y el control. Por este motivo, ZigBee pretende cumplir los siguientes requisitos:

- Alta fiabilidad.
- Bajo coste.

- Muy bajo consumo.
- Altamente seguro.
- Estándar abierto.

En consecuencia, para poder satisfacer todos estos puntos, ZigBee se va a caracterizar por las siguientes características:

- Baja capacidad de transmisión, en torno a 250 Kbps, que nos permitirá desarrollar sistemas de muy bajo coste.
- Protocolo sencillo, pudiendo ser implementado sin ningún tipo de limitación en sistemas microcontroladores de 8 bits.
- Muy bajo consumo energético permitiendo que la fuente de alimentación del sistema pueda durar años.

Como gran desventaja, podemos mencionar la baja capacidad de transmisión adoptada lo que restringe el uso de esta especificación para usos muy concretos y actividades que requieran poco intercambio de datos, como accionar un interruptor de la luz o monitorizar un sensor de temperatura o luminosidad.

1.3. RFID

La tecnología RFID (Radio Frequency Identification) corresponde con un método de almacenamiento y recuperación remota de información, basado en el empleo de etiquetas (en adelante se referenciarán como tags o transpondedores) en las que se almacenan los datos. De forma que cuando dichos transpondedores entran en el área de cobertura de un lector RFID, éste envía una señal para que la etiqueta le transmita la información almacenada en su memoria. Por tanto, una de las principales características de esta tecnología es la posibilidad de recibir información de las etiquetas dispersas por el entorno a través de radiofrecuencia y sin necesidad de que exista contacto físico entre el dispositivo lector y el transpondedor. No obstante, la distancia no podrá superar un cierto valor máximo impuesto por la potencia de transmisión máxima y la potencia de recepción mínima detectable.

El rango típico de las señales de radiofrecuencia empleadas en RFID son típicamente 125 KHz., 13,56 MHz., 433-860-960 MHz. y 2,45 GHz.

Por su parte, los sistemas de identificación por radiofrecuencia están compuestos por cuatro elementos principalmente:

- Una etiqueta RFID: se denomina también tag o transpondedor, puesto que combina en un mismo dispositivo el transmisor y el receptor. La etiqueta se utilizaría para ser distribuida por el entorno donde el objetivo a localizar se

vaya a desplazar. Se compone de tres elementos: chip, antena y sustrato. El chip y la antena están contenidos en el sustrato que puede ser un material rígido (por ejemplo el sustrato de fibra de vidrio FR4 de los circuitos impresos) o flexible (película de poliamida Dupont's Kapton). En cuanto a la realización de la antena, se realiza de un material metálico como el cobre; mientras que el integrado se realiza sobre silicio que se une eléctricamente a la antena. Se distinguen dos tipos de tags:

- Pasivos: no poseen ninguna fuente de alimentación, ésta la reciben directamente del lector. Por este motivo, tan sólo podrán transmitir información cuando son activados por el lector.
- Activos: contienen una fuente de alimentación que les suministra la energía necesaria como para poder transmitir la señal de información.
- Un lector: es el encargado de transmitir la energía suficiente a la etiqueta para que ésta le pueda enviar la información que contiene almacenada. Consta de un módulo de radiofrecuencia (transmisor y receptor), una unidad de control y una antena para interrogar los tags vía radiofrecuencia. Para el intercambio de información, los lectores suelen incorporar algún tipo de protocolo específico, como puede ser NFC, que permita enviar los datos recibidos de la etiqueta a un sistema de procesamiento de datos.
- Un dispositivo controlador: se corresponderá con un dispositivo móvil o un ordenador que ejecute la aplicación encargada de procesar los datos procedentes de uno o varios lectores RFID se las transmita al sistema de información. También puede ser capaz de transmitir órdenes al lector
- Middleware: se tratará del software desarrollado para poder recoger, filtrar y manejar la información procedente de los diferentes controladores.

1.4. Ultra Wide Band

Se corresponde con una tecnología de comunicación inalámbrica conocida hace más de 45 años en el mundo de la investigación y militar. La principal característica de las redes Ultra Wide Band (UWB) es que permite obtener enlaces con una gran capacidad de transmisión, consumiendo muy poca potencia. Esto se consigue transmitiendo señales en el dominio del tiempo de muy corta duración. El periodo de estas señales será del orden de unos pocos nanosegundos. Esto permite tener grandes anchos de bandas en las señales transmitidas lo que conlleva considerables beneficios en cuanto al consumo y a la capacidad de transmisión.

Por su parte, el despegue de esta tecnología se produjo en 2002 cuando el organismo estadounidense Federal Communications Commission (FCC) permitió el uso de la banda ubicada entre 3.6GHz y 10.1 GHz. Este acontecimiento provocó que numerosos

centros de investigación, gobiernos, la industria de las telecomunicaciones,... investigasen posibles aplicaciones. Entre ellas, cabe citar:

- Acceso a Internet de banda ancha a muy alta velocidad.
- Localización con precisión de centímetros.
- Imágenes de radar de alta resolución.
- Obtención de imágenes a través de paredes.
- Navegación y seguimiento de objetos de forma precisa.

Finalmente, el principal inconveniente de esta tecnología es que sólo se puede utilizar en un corto rango de espacio, cercano a los 10 metros de cobertura. Esto está motivado por los niveles tan bajo de potencia que la FCC estableció para UWB. En concreto, la máxima potencia de salida de un transmisor UWB es de 0.0001 mW/MHz lo que supone que para un ancho de banda típico de 500 Mhz se tenga una potencia de salida de 0.05 mW, valor que se encuentra muy por debajo de la máxima potencia permitida, por ejemplo, en el estándar 802.11b que es 100 mW. Esto supone 2000 veces menos potencia.

1.5. Wi-Fi

Se trata de un estándar internacional que implementa los niveles inferiores del modelo OSI, en concreto, el nivel físico y el de enlace, sobre un canal inalámbrico. En su concepción se pensó para sustituir a Ethernet (estándar 802.3) en aquellas zonas o puntos donde difícilmente podríamos llegar con un cable. De ahí que los métodos de acceso al medio físico sean similares a los usados en Ethernet. Por otro lado, se trata de un estándar que desde que apareciera en 1997 ha sufrido una constante evolución, encontrando varias versiones del mismo:

1.5.1. 802.11a

Esta versión del estándar se corresponde con la tercera generación de redes inalámbricas debido a que apareció en el mercado después de las redes 802.11 y 802.11b. Aunque en un principio, su desarrollo se había iniciado antes que el estándar 802.11b. A pesar de ello, se retrasó debido a los requisitos tecnológicos necesarios para poder llevarlo a cabo.

En concreto, las redes inalámbricas 802.11a se caracterizan por operar a una frecuencia de 5 Ghz. en los EEUU, en la banda de frecuencia conocida como UNII (Universal Networking Information Infraestructure). Sin embargo, esta forma de comunicación inalámbrica no está autorizada para su utilización en Europa porque la banda que usa para operar se encuentra ocupada por el estándar HyperLAN2.

Las principales características que aporta son:

- Una capacidad de enlace de 54 Mbps.
- Al trabajar en la banda UNII, posee mayor inmunidad frente a las interferencias por solapamiento puesto que dicha banda contempla el uso de 4 canales para este fin.
- Uso de un rango de frecuencias relativamente libre como son los 5 Ghz.

1.5.2. 802.11b

Este estándar apareció en 1999 con la idea de permitir a los usuarios comunicarse con sus dispositivos con redes Ethernet a través de transmisores/receptores de radiofrecuencia. Por este motivo, la institución IEEE se vio obligada a cambiar los mecanismos de acceso a las redes Ethernet para añadir el soporte de las nuevas capas físicas y de enlace introducidas por 802.11b. En concreto, se optó por usar CSMA/CA (Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance) en la capa de enlace y para la capa física se eligieron tres técnicas:

- DSSS (Direct-Sequence Spread Spectrum) usando la banda de los 2,4 GHz.
- FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum) operando en el rango de los 2,4GHz.
- Infrarrojos.

La principal ventaja de este estándar es que ha sido ampliamente usado en todo el mundo para establecer redes inalámbricas por ser el primero que salió de forma comercial. No obstante, presenta una serie de inconvenientes que en revisiones posteriores se han intentado corregir. Entre estas se pueden citar:

- Problemas de interferencias debido a que el rango de frecuencias en el que opera se encuentra saturado al tratarse de una banda libre.
- Capacidad de transmisión reducida, admite hasta 11 Mbps.
- Requiere de modulaciones que contrarresten los efectos de multirrayectos.
- Sensible a la distancia de tal forma que a una distancia a más de 75 metros, la capacidad del enlace cae a 2 Mbps.

1.5.3. 802.11g

Este estándar surgió como una extensión del 802.11b con el que se pretendía mejorar la capacidad de transmisión del enlace usando el mismo rango de frecuencias, es decir, la banda de 2,4 Ghz. Para ello, lo que se hizo fue introducir un segundo modo de acceso basado en OFDM usado ya en las redes 802.11a que permitió aumentar la capacidad del enlace hasta los 54 Mbps. De esta forma, al disponer de las dos técnicas de modulación, las usadas en 802.11b y la usada en 802.11a, este estándar podía dar

servicio a dispositivos que cumplieren la normativa 802.11b y a la vez a los nuevos dispositivos compatibles con el estándar 802.11g.

Por tanto, la principal ventaja de las redes 802.11g es el aumento considerable de la capacidad de transmisión, hasta 54 MBPS. No obstante, al compartir la misma banda que 802.11b presenta las mismas desventajas.

1.5.4. 802.11n

Se corresponde con una norma todavía en fase de propuesta, es decir, sigue siendo evaluado por los grupos de trabajo del IEEE. En Junio de 2.009 estaba prevista su publicación como estándar, pasando a constituir de esta forma la última revisión del estándar 802.11. Se caracteriza principalmente por conseguir un aumento de la capacidad de transmisión muy superior a la proporcionada por 802.11a/b/g. Se podrían alcanzar hasta 600 Mbps. Para poderlo conseguir ha sido necesario emplear dos conceptos claves en la definición de la capa física: el uso de sistemas MIMO (Multiple In Multiple Out) y un ancho de banda de 40 Mhz. para los diversos canales existentes. La unión de estas dos decisiones de diseño ha originado ese aumento de la capacidad de transmisión.

Por su parte, durante la formulación de este estándar se ha mantenido siempre el carácter compatible del mismo con las revisiones anteriores de 802.11 por lo que permite el uso de modulaciones OFDM para poder usar dispositivos compatibles con 802.11a/b y las técnicas de acceso vistas en 802.11b. De esta forma, pueden usarse los más de 250 millones de dispositivos existentes en el mercado actual de las comunicaciones inalámbricas en este tipo de redes. Esta característica supone una gran ventaja comercial puesto que el usar un nuevo estándar de comunicaciones inalámbricas no supone tener que cambiar los dispositivos que el usuario pueda ya haber adquirido.

En consecuencia, entre las principales ventajas de 802.11n podemos citar:

- Mayor capacidad de transmisión, hasta 600 Mbps.
- Retrocompatibilidad con los dispositivos 802.11a/b/g.
- Uso de modos para ahorrar consumo y mejorar la utilización de los canales.
- Aprovechamiento de los rayos multitrayectos para mejorar la capacidad de transmisión.

En la Tabla 1 se puede ver una comparativa entre las diferentes versiones de la especificación Wi-Fi.

	802.11b	802.11g	802.11a	802.11n
Tasa máxima de	11	54	54	300

datos (Mbps)				
Tasa real de datos (Mbps)	5	20	22	146
Nº de canales disponibles	3	3	12	3 en 2,4 GHz. 12 en 5 GHz.
Probabilidad de interferencia	Alta	Alta	Baja	Baja
Comportamiento en entornos difíciles	Pobre	Medio	Bueno	Muy bueno
Compatibilidad	802.11b	802.11b/n	802.11a	802.11a/b/g/n
Frecuencias (GHz.)	2,4	2,4	5	2,4 y 5
Seguridad	WEP/WPA/WPA2	WEP/WPA/WPA2	WEP/WPA/WPA2	WEP/WPA/WPA2

Tabla 1: Comparativa entre las diferentes versiones de la especificación Wi-Fi.

1.6. WiMAX

Se trata de una estándar de comunicaciones cuyo principal objetivo consiste en dar servicios de banda ancha de una forma inalámbrica a áreas metropolitanas, es decir, está pensado para ser usados en redes MAN. Por este motivo, se desarrolló para cubrir distancias de hasta 50 Kms. y permitir una capacidad de transmisión de hasta 100 Mbps. Con estas características, esta tecnología podría hacer frente a otras como DSL y las líneas T1 tendidas en el bucle de abonado.

WiMAX se corresponde con el nombre con el que se comercializa el estándar 802.16 del IEEE, organismo encargado del desarrollo y mantenimiento del mismo desde que fue transferido por el NIST (National Institute of Standards and Technologies) en 1998 a este organismo.

La idea fundamental de WiMAX se centra en poder dar una gran variedad de servicios, motivado por el bajo coste de los enlaces, que pueden ir desde actuar como *backbone* para redes 802.11, dar servicios de conexión a dispositivos móviles sin hacer uso del estándar 802.11, como red de respaldo de las redes cableadas,...

Entre las principales características de WiMAX, podemos mencionar:

- Dos rangos de frecuencias para operar:
 - 10GHz-66GHz: se corresponde con la banda asignada en la primera versión del estándar. El principal problema de este rango es que requiere visión directa entre las distintas estaciones para poder llevar a cabo la comunicación, provocando el encarecimiento de la instalación al tener que aumentar el número de estaciones que coloquemos.
 - 2GHz-11GHz: en esta banda se establecen dos rangos, uno en los 3,5 GHz que requiere de licencia para poder transmitir y otro en los 5,8 GHz que se halla en la banda libre y, por tanto, no necesitaríamos ningún tipo de licencia.

- Uso de selección dinámica de la frecuencia de utilización. Esta técnica permite seleccionar la frecuencia de transmisión en base a las interferencias generadas por otros sistemas en la banda usada y por la interferencia co-canal y ajustar la potencia de transmisión en base a estos parámetros. De esta forma, consigue mejorar el rendimiento de la comunicación.
- Útil en redes punto-multipunto.
- Asignación de una determinada calidad de servicio a cada conexión, lo que permite poder transportar sobre la capa de enlace de WiMAX protocolos como ATM, Ipv4 o Ipv6.

Finalmente, cabe mencionar que en 2005, el IEEE aprobó el estándar 802.16e en el que se definen redes de banda ancha móviles usando WiMAX como capa física y de enlace. Se prevé que mediante estas redes se pueda dar servicio a vehículos que circulen hasta 120 km/h.

1.7. Comparativa

A modo de resumen, se presenta una breve comparativa entre las diversas tecnologías estudiadas previamente, destacando lo mejor de cada una de ellas a un nivel tecnológico y cualitativo. Esta comparativa se presenta con tres tablas donde se presentan las principales características para las tecnologías inalámbricas más usadas, Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4.

Standard	Bluetooth (BR/EDR)	Bluetooth Low Energy	UWB	Zigbee	Wi-Fi	WiMAX
IEEE specification	802.15.1	802.15.1	802.15.3	802.15.4	802.11	802.16
Versions	V 1.2 V 1.2 V 2.0 + EDR V 2.1 + EDR V 3.0 + HS	V4.0	MB-OFDM-UWB SD-UWB TH-UWB FM-UWB UWB-MIMO	0x01 @2004 0x02 @2006	802.11 @WLAN 802.11a @WLAN 802.11b @WLAN 802.11g @WLAN 802.11p @ Vehicular 802.11e @ QoS 802.11f @IAPP 802.11h @5GHz 802.11i @Encryption 802.11n@MIMO * ₂	802.16b-2004 802.16e (4G, mobile phones)
Frequency band	2.4 GHz	2.4 GHz	3.1-10.6 GHz (U.S) 7.5 GHz Unlicensed 6-8.5 GHz (Europe) 3.4-4.8 GHz(Japan)	868/915 MHz, 2.4 GHz	2.4 GHz @11g 5 GHz @11a	2-11 GHz 3.5 GHz (license) 5.8 GHz (unlicensed) 2.3-2.5 GHz (802.16e)
Data Rate	721.2 Kb/s V1.2 2.1Mb/sV2.0+EDR 24Mb/s V3.0+ HS* ₁	1 Mb/s	500Mb/s @ MB Up to 1320 Mb/s @ SD	250Kb/s @2.4GHz 40Kb/s @915MHz 20Kb/s @868MHz	1-2Mb/s@11-2.4GHz 54Mb/s@11a-5GHz 11Mb/s@11b-2.4GHz 54Mb/s@11g-2.4GHz	75 Mb/s @ 2.3GHz – 3.5 GHz 6Mb/s mobile devices
Covered range	Class 1 - 100m Class 2 - 10m Class 3 - 1m	1m	1-10 m	10-100m	30m @11a-5GHz 100m @11b-2.4GHz 100m @11g-2.4GHz	8-32Km 2.3GHz – 3.5 GHz Up to 50 Km 8-10K mobile devices. Speed of up to 120Km/h
Transmission power	Class 1 - 20dBm Class 2 - 4dBm Class 3 - 0dBm	-20 dBm + 10 dBm	< 0 dB	0dBm	15-20dBm	

Tabla 2: Características de las principales tecnologías inalámbricas I.

*1) Bluetooth con 802.11 AM

*2) En desarrollo, 802.11p comunicación entre vehículos, 802.11s mesh networking, y otros.

Standard	Bluetooth (BR/EDR)	Bluetooth Low Energy	UWB	Zigbee	Wi-Fi	WiMAX
Access Medium	TDD * ₁	FDMA * ₃ TDMA * ₄	DS-CDMA* ₂₀ @ DS MC-CDMA* ₂₂ @MB TFC* ₂₁ @MB	CSMA-CA* ₅	DFS* ₁₀ @11g TPC* ₁₁ @11g CSMA-CA* ₅ DCF* ₁₆ RTS/CTS* ₁₇ PCF* ₁₈	TDD* ₁
To combat interference and fading	FHSS * ₂	FHSS * ₂	THS* ₁₉ @DS IR-Direct Sequence	DSSS* ₅	DSSS* ₇ @11 FHSS* ₂ @11 HR/DSSS@11b OFDM* ₈ @11a,g	Multi-hop
Number of channels	79	40	14 band of 528MHz @MB	1 @868MHz 10 @915MHz 16 @2.4GHz	14 @11b,g (Europe) 11 (US)	
Separation between channels	1 MHz	2 MHz	122 subcarrier @MB	2 MHz @915MHz 5 MHz @2.4GHz	25MHz @11 22MHz @11b,g	10.94 KHz subcarrier spacing (OFDM)
Modulation	PSK with two variants: $\pi/4$ -DQPSK and 8DPSK	GFSK	OFDM* ₈ @MB QPSK* ₁₄ @ MB BPSK* ₁₃ @SD	BPSK @868MHz BPSK @915MHz O-QPSK @2.4GHz	CCK* ₁₂ @11b BPSK* ₁₃ , QPSK* ₁₄ @11 OFDM* ₈ @11a,g M-QAM* ₁₅ @11a,b	Wireless MAN-SC* ₇ , 64-QAM* ₁₅ 256-QAM* ₁₅ OFDM(256FFT)* ₈ OFDMA (2048FFT)* ₉ , SOFDMA

Tabla 3: Características de las principales tecnologías inalámbricas II.

*1) Time Division Duplex (TDD)

*2) Frequency hopping sequence spectrum (FHSS)

- *3) Frequency Division Multiple Access (TDMA)
- *4) Time Division Multiple Access (TDMA)
- *5) Carrier sense, multiple access, with collision avoidance (CSMA-CA)
- *6) Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
- *7) Single Carrier (SC)
- *8) Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)
- *9) Orthogonal frequency division multiplexing access (OFDMA) and Scalable OFDMA
- *10) Dynamic Frequency selection (DFS)
- *11) Transmit Power Control (TPC)
- *12) Complementary Code Keying (CCK)
- *13) Binary Phase Shift Keying (BPSK)
- *14) Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)
- *15) M-ary Quadrature Amplitude Modulation (M-QAM)
- *16) Distributed Coordinator Function (DCF)
- *17) Request to Send/Clear to Send (RTS/CTS)
- *18) Point Coordination Function (PCF)
- *19) Time Hopping sequence (THS)
- *20) Direct Sequence Code Division Multiple Access (DS-CDMA)
- *21) Time Frequency Codes (TFC)
- *22) Multiple Carriers Code Division Multiple Access (MC-CDMA)

Standard	Bluetooth (BR/EDR)	Bluetooth Low Energy	UWB	Zigbee	Wi-Fi	WiMAX
Topologies	Piconet Scatternet	Piconet Scatternet	Piconet@DS Child and Neighbour Nanonet@DS Star Multi-hop	Star Cluster Tree	BSS* ₇ @11a,b,g ESS* ₈ @11a,b,g IBSS* ₉ @11a,b,g	Point to multi-points Mesh mode
Number of nodes	8 per Piconet Up to 256 parked state	8 per Piconet Up to 256 parked state		>65000	2007 (infrastructure) Unlimited (Ad-Hoc)	
Types of devices	Master (1 per Piconet) Slave (Up to 7 per Piconet)	Initiator - Master Advertisers - Slaves	PNC* ₁₀ @ DS Master and Slave (Star)	ZC* ₂ ZR* ₃ ZED* ₄	AP* ₆ WiFi stations	Base station (BS) Subscriber stations (SS) Relay stations (RS)
Network	Ad-Hoc Peer to peer WPAN* ₁		Ad-Hoc Peer to peer WPAN	Ad-Hoc Peer to Peer LR-WPAN* ₁	Ad-Hoc Point-multipoint WLAN* ₉	WMAN* ₅ HyperMAN

Tabla 4: Características de las principales tecnologías inalámbricas III.

*1) Wireless Personal Area Network (WPAN). Low Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN)

*2) Zigbee coordinator

*3) Zigbee router

*4) Zigbee end device

*5) Wireless Metropolitan Area Network (WMAN).

*6) Access Point (AP)

*7) Basic Service Set (BSS)

*8) Independent Basic Service Set -> Ad Hoc Networking

*9) Wireless Local Area Network (WLAN)

*10) Piconet Coordinator (PNC)

A nivel cualitativo, cada una de las tecnologías propuestas aporta las siguientes características:

- **Bluetooth**
 - Está orientada a aplicaciones de voz y datos.
 - Opera en el espectro libre de 2,4 GHz.
 - Puede operar a una distancia de entre 1 y 100 metros dependiendo de la clase del dispositivo.
 - La tasa máxima de transferencia es de 3 Mbps.
 - Puede penetrar objetos sólidos.

- Es omnidireccional y no requiere de visión directa para poder trabajar.
- Permite hasta tres modos de seguridad.
- **ZigBee**
 - Posee una capacidad de hasta 250 Kbps usando las frecuencias de 2,4 GHz., 40 Kbps en 915 MHz. y 20 Kbps en 868 MHz., variando su alcance de los 10 a los 100 metros.
 - Pretende ser un estándar en comunicaciones inalámbricas para las aplicaciones de control remoto en la industria.
 - Debido a su objetivo, se explica su bajo consumo, bajo coste, fácil uso y escasa capacidad de transmisión.
 - En la actualidad, existen tres niveles de seguridad aunque en la primera especificación liberada no se contemplaban mecanismos de seguridad.
- **RFID**
 - Existen aproximadamente 140 estándares ISO para RFID que regulan un amplio rango de aplicaciones.
 - En RFID, las etiquetas pasivas se deben poder alimentar a distancias por el lector. Por este motivo, el receptor debe encontrarse relativamente cerca, a pocos centímetros.
 - Las etiquetas activas, por el contrario, se pueden leer a distancias de varios metros puesto que éstas se encuentran alimentadas y no requieren que el receptor les aporte energía para su funcionamiento.
 - RFID puede operar a bajas frecuencias, por debajo de 100 MHz., y a altas frecuencias, banda UHF o en la banda libre de los 2,4 GHz. Y 5,8 GHz.
- **UWB**
 - Posee un bajo ratio de consumo (1mW/Mbps) unido a una gran capacidad de transferencia.
 - Idealmente, tendrá un bajo consumo de energía, bajos precios, alta capacidad de transferencia de datos, podrá atravesar los obstáculos y usarán una amplia franja del espectro radioeléctrico.
 - Existen dos organismos de estandarización compitiendo por regular esta tecnología: UWB Forum, que apuestan por el uso de una interfaz radio

basada en la secuencia directa (DS-UWB), y la WiMedia Alliance, que promueven un sistema basado en la modulación OFDM.

- Para las redes WSN, el estándar ha propuesto que se use la recomendación IEEE 812.15.4ª basada en IR-UWB, es decir, hacer uso de la tecnología UWB en el espectro infrarrojo. Esta técnica permite alcanzar hasta 850 Kbps en un rango de 10 a 50 metros.

- **Wi-Fi**

- Su coste y consumo de potencia son superiores al resto de las tecnologías inalámbricas presentadas a excepción de WiMAX.
- Existen multitud de especificaciones que regulan los distintos aspectos de este estándar.
- 802.11a: utiliza OFDM como modulación y opera en el rango de los 5 GHz. Posee una velocidad máxima de 54 Mbps.
- 802.11b: funciona en el rango de los 2,4 GHz., tiene una tasa máxima de transferencia de 11 Mbps y usa DSSS. Se corresponde con la primera versión del estándar Wi-Fi.
- 802.11g: funciona en el rango de los 2,4 GHz., tiene una tasa máxima de transferencia de 54 Mbps y usa OFDM. Es compatible con la versión 802.11b.
- 802.11e: regula la calidad de servicio.
- 802.11h: se corresponde con un complemento de la norma 802.11a en Europa y proporciona el control de potencia y la gestión del espectro.
- 802.11i: Aumenta la seguridad incluyendo el estándar de cifrado avanzado (AES). Esta norma no es totalmente compatible con versiones anteriores.
- 802.11k: se encuentra en desarrollo y permitirá una mayor gestión de los recursos radios en redes 802.11x.
- 802.11n: Se espera que opere en el rango de los 5 GHz. Y ofrecerá una velocidad máxima de datos de más de 100 Mbps. Está orientada para aplicaciones multimedia.
- 802.11p: estándar desarrollado para el sector de la automoción. Será la base para las comunicaciones de corto alcance en EEUU.

- 802.11r: mejora la capacidad de los usuarios para moverse entre los puntos de acceso o estaciones base.
- 802.11s: se encuentra en desarrollo y se espera que permita la creación de redes 802.11x con una topología en forma de malla.
- **WiMAX**
 - Se trata de una red inalámbrica de área metropolitana.
 - Posee un alcance de 50 Km. con tasas de transferencias de hasta 70 Mbps.
 - La primera versión del estándar, 802.16, operaba en el rango de frecuencias que van desde los 10 GHz. Hasta los 66 GHz. Lo que implicaba que debía existir visión directa entre el transmisor y el receptor.
 - El último estándar, 802.16a, opera entre los 2 y 11 GHz. y no necesita línea de visión.
 - Contempla el uso de receptores en vehículos móviles siempre cuando no superen la velocidad de 100 Km/h.
 - Ha sido creado para competir con la tecnología xDSL y el acceso por módem de cable.

1.8. Criterio de elección

Entre las tecnologías inalámbricas descritas en este capítulo se ha decidido elegir el estándar 802.11, conocido comercialmente como WIFI. Se ha decidido utilizar esta tecnología ya que está íntegramente implementada en el entorno de simulación NS-2. Además es una tecnología ampliamente usada en sistemas de transporte inteligentes, tanto en comunicaciones vehículo infraestructura, como en comunicaciones vehículo a vehículo. Su rango de alcance es medio alto, siendo en ocasiones superior a 100 m. No obstante este rango depende del dispositivo hardware.