

# Wi-Fi: nuevos estándares en evolución

**Eduardo Fernández González**

Enero 2007

Centro de Difusión de Tecnologías ETSIT-UPM

<http://www.ceditec.org>



## Contenidos

1. Introducción.....	3
2. 802.11e: MAC Enhancements (QoS).....	4
3. 802.11k: Radio Resource Measurement.....	5
4. 802.11n: High Throughput.....	7
5. 802.11p: Wireless Access for the Vehicular Environment.....	10
6. 802.11r: Fast Roaming.....	12
7. 802.11s: ESS Mesh Networking.....	13
8. 802.11u: InterWorking with External Networks.....	15
9. Otros estándares de interés.....	17
10. Tabla de comparación.....	18
11. Bibliografía.....	19

El **Centro de Difusión de Tecnologías CEDITEC**, con sede en la Escuela de Ingenieros de Telecomunicación de la **Universidad Politécnica de Madrid**, tiene por misión *la difusión de las oportunidades de valor social y económico que proporcionan las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y el apoyo proactivo a la generación de conocimiento y al desarrollo de tecnologías y servicios para diversos sectores y grupos de usuarios.*

<http://www.ceditec.org>

## 1 Introducción

El crecimiento y popularidad de las redes Wi-Fi ha sido constante durante estos últimos años. Según el *Observatorio de Wireless* de la empresa IWE-X, en octubre de 2006 el número de usuarios de estas redes en Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla y Bilbao, sobrepasó los 6 millones<sup>1</sup>.

Varias son las causas que explican la proliferación imparable de las redes Wi-Fi: su versatilidad y economía, la existencia de hardware comercial accesible, la distribución masiva de routers Wi-Fi con accesos a Internet ADSL, etc. En el momento presente asistimos también a la aparición de nuevos modelos de negocio – muchos de ellos aún sin consolidar – que tratan de ofrecer una alternativa de servicio al operador tradicional de redes celulares. El ejemplo más sonado, quizás, es la empresa FON<sup>2</sup>, que se ha propuesto implantar un modelo de acceso a Internet según un modelo comunitario. Otro es la aparición de operadores específicos de *hotspots* Wi-Fi como Boingo o WeRoam y Kubiwireless. Por su parte, algunos ayuntamientos y otros organismos públicos están implantando redes metropolitanas que proporcionan acceso a Internet gratuito o de bajo coste a sus ciudadanos<sup>3</sup>. En España hay unas cuarenta redes municipales activas y controversia en torno al impacto de estos modelos de posible conexión gratuita sobre la libre competencia<sup>4</sup>.

Y es que los sucesivos estándares de redes Wi-Fi representan, en efecto, una alternativa eficaz y de bajo coste para las comunicaciones de banda ancha, especialmente para aquellas arquitecturas que necesitan garantías de calidad de servicio. El hecho de que en la actualidad exista ya una oferta comercial de VoIP ha impulsado decisivamente este tipo de tecnologías, que aumentarán sus prestaciones con la implementación de los nuevos estándares actualmente debatidos en el seno del IEEE.

El objetivo de este informe es, por tanto, presentar la situación actual de definición de algunos de los nuevos estándares WiFi (IEEE 802.11). La norma IEEE 802.11 se divide en estándares desarrollados por grupos de trabajo independientes, los cuales se identifican por medio de letras agregadas tras la última cifra. Cada vez que se percibe la necesidad de nuevas técnicas que den solución a un determinado problema, el IEEE crea un nuevo grupo incluido en el 802.11 e identificado por una nueva letra. Por ejemplo, los estándares 802.11a, 802.11b y 802.11g son bien conocidos y su éxito comercial ha quedado patente.

En este documento se proporciona una explicación detallada de los estándares desarrollados por los grupos de trabajo k (medida del rendimiento), p (Wi-Fi en vehículos), n (alta velocidad de

<sup>1</sup> Además, hay en dichas ciudades más de 102.000 puntos de acceso y la mitad de los cuales se encuentra a disposición del público en centros de ocio como restaurantes, cafeterías, hoteles, etc.

<sup>2</sup> El artículo "A global FON for all?" de B. Giussani en Business Week (9 marzo 2006) explica el concepto de FON y su modelo de negocio.

<sup>3</sup> Google y Earthlink, por ejemplo, ofrecerán acceso gratuito a Internet a casi un millón de habitantes de San Francisco en asociación con su ayuntamiento. En Estados Unidos hay unas trescientas ciudades que disponen ya de redes municipales activas o cuentan con planes avanzados para desarrollarlas.

<sup>4</sup> La CMT expedientó en su día a varios municipios – Atarfe, Pontearreas, Barcelona, etc.- y posteriormente dejó claro en "La actividad de las Administraciones Públicas en el sector de las telecomunicaciones" que "Los operadores públicos no deben realizar sus actividades de telecomunicaciones de forma que establezcan barreras de entrada a los operadores privados ni provoquen la salida del mercado de éstos por la imposibilidad de competir en igualdad de condiciones."

transmisión), r (roaming entre puntos de acceso), s (redes mesh) y u (interoperabilidad con otras redes). También se incluye el recién publicado estándar 802.11e (MAC y calidad de servicio). Para todos estos estándares, se comenta su propósito general, sus mejoras y funcionalidades específicas, la situación de desarrollo y su estado desde el punto de vista comercial. Existen otros estándares de menor impacto (t, v, w...) para los cuales se ha reservado un breve espacio en el último apartado, antes de la tabla comparativa que sirve de resumen y conclusión.

## 2 802.11e: MAC Enhancements (QoS)

### 2.1 Propósito general

802.11e es el último estándar aprobado y publicado por el IEEE. Su objetivo es introducir nuevos mecanismos a nivel de la capa MAC para soportar los servicios que requieren garantías de QoS (*Quality of Service*), por lo que es de importancia crítica para aplicaciones sensibles a retrasos temporales como la VoIP y el *streaming* multimedia. Gracias a este estándar será posible, por ejemplo, utilizar aplicaciones de VoIP o sistemas de videovigilancia de alta calidad con infraestructura inalámbrica. Hasta ahora se han utilizado soluciones alternativas, consistentes en proporcionar QoS a través de equipos intermedios, pero con muchas limitaciones cuando es necesario priorizar unos paquetes IP sobre otros (voz sobre datos, por ejemplo) y distinguir entre tipos de paquetes.

### 2.2 Mejoras y funcionalidades específicas

Para cumplir con su objetivo, IEEE 802.11e emplea una nueva técnica llamada HCF (*Hybrid Coordination Function*), que define dos formas de acceder al canal, EDCA y HCCA, cada una de las cuales puede llevar asociadas varias clases de tráfico.

Con EDCA, el tráfico de alta prioridad tiene una mayor probabilidad de ser enviado que el tráfico de baja prioridad, para un periodo de tiempo dado. Es decir, una estación que envíe tráfico de alta prioridad esperará menos para enviar un paquete, en promedio, que una estación que envíe tráfico de baja prioridad. Se espera que de esta forma se reduzca el problema existente en la actualidad, a saber, que las estaciones con tráfico de baja prioridad a veces ocupan un tiempo de canal excesivo.

HCCA es una función que define otra forma de acceder al canal. Se considera que esta forma es la más avanzada y compleja. Con HCCA, la calidad de servicio puede ser configurada y ajustada con gran precisión. Las estaciones pueden requerir información acerca del estado de las colas de otras estaciones, y mostrar dicha información, que podrá ser usada para dar prioridad a unas estaciones sobre otras. De esta forma, las estaciones que accedan a esta información podrán especificar los parámetros específicos de transmisión que requieren, como velocidad de datos, ruido, etc., lo cual mejorará el funcionamiento en redes Wi-Fi de aplicaciones avanzadas como VoIP y *streaming* de vídeo.

802.11e emplea otras técnicas además de las ya mencionadas. De entre ellas destaca APSD (*Automatic Power Save Delivery*), un sistema eficiente de gestión de la energía que es de especial

utilidad en teléfonos VoIP portátiles y otros dispositivos que funcionan con baterías.

### **2.3 Situación del estándar y estado de desarrollo comercial**

Con la norma 802.11e, que fue publicada por el IEEE en noviembre de 2005, se espera que despegue el uso de sistemas Wi-Fi en la electrónica de consumo: reproductores DVD, televisiones, teléfonos... y otros aparatos que podrían transmitir audio y vídeo de forma inalámbrica. Cisco ya hace uso de la especificación QBSS (*QoS Basic Service Set*), que es parte de 802.11e, en sus nuevos sistemas WLAN integrados, principalmente para telefonía IP.

En principio, para adaptar productos existentes a esta nueva norma es suficiente con actualizaciones de *firmware*. Hasta la publicación de esta norma muchos fabricantes incluían sus propias técnicas de calidad de servicio y de gestión de la energía.

Por otra parte, la Wi-Fi Alliance, una organización que incluye a la mayoría de las empresas del sector Wi-Fi, creó en septiembre de 2004 la certificación WMM (Wi-Fi Multimedia), que define una serie de características de calidad de servicio y de gestión de la energía avanzadas, que engloban un subconjunto de las técnicas y protocolos contemplados en 802.11e. Por ejemplo, en WMM el uso de HCCA es opcional.

A finales de 2006 más de 200 dispositivos Wi-Fi habían obtenido la certificación WMM de la Wi-Fi Alliance, mientras que la mayoría de productos que anuncian soporte para 802.11e tan solo implementan la técnica EDCA. Para poder disfrutar de los beneficios de WMM en una red Wi-Fi, se debe cumplir la condición de que el punto de acceso y el dispositivo del lado del cliente estén certificados para WMM y que la aplicación esté diseñada con soporte para WMM. En cualquier caso, desde el principio se tuvo en cuenta la posibilidad de permitir que los dispositivos antiguos que no soportan WMM puedan funcionar en redes Wi-Fi con WMM habilitado.

## **3 802.11k: Radio Resource Measurement**

### **3.1 Propósito general**

La norma 802.11k define una serie de mecanismos cuyo objetivo es asegurar un uso más eficiente de los recursos electromagnéticos en una red 802.11, así como facilitar su administración y mantenimiento. En 802.11k se definen protocolos de comunicación entre los puntos de acceso y los dispositivos inalámbricos mediante los cuales estos últimos pueden determinar a qué punto de acceso deben conectarse en cada momento para garantizar un funcionamiento óptimo de la totalidad de la red.

### **3.2 Mejoras y funcionalidades específicas**

En una LAN inalámbrica, los clientes suelen conectarse siempre al punto de acceso del cual reciben mayor potencia. Dependiendo del número de clientes, de su distribución geográfica y de las características de la red, este comportamiento puede conducir a desequilibrios en el uso de los puntos de acceso que podrían afectar al rendimiento global de la red. Este es un comportamiento

que conduce de forma inevitable a la sobrecarga excesiva de un número reducido de puntos de acceso, mientras que otros se encontrarán prácticamente en desuso, perjudicando al rendimiento de la red. Estas prácticas podrían evitarse introduciendo una red construida de acuerdo a la norma 802.11k, porque con ella es posible lograr que si el punto de acceso con mayor nivel de señal está cerca del límite de su capacidad, el cliente se asocie a otro que se encuentre menos cargado en ese momento.

La norma 802.11k permitirá acceder a las mediciones y registros de acceso y utilización de las capas 1 y 2 de la torre OSI de protocolos. La información así obtenida podrá ser utilizada tanto por los puntos de acceso y los *switches* WLAN como por los clientes. Este procedimiento permitirá conocer con precisión, entre otras cosas, el nivel de ocupación del espectro de frecuencias, las estadísticas de uso de la red y la posibilidad de hacer *roaming* entre puntos de acceso. Según se ha previsto, dicha información mejorará las transiciones entre puntos de acceso porque reducirá las interrupciones en aplicaciones sensibles a la continuidad de conexión. Con el fin de lograr este objetivo la presente norma se habrá de complementar con la 802.11r.

Además de las mediciones de potencia definidas en el estándar 802.11h, el borrador de la norma 802.11k define siete tipos de mediciones:

- *Beacon report*: se informa acerca del número de *beacons* o tramas de respuesta recibidos durante el periodo de medida
- *Frame report*: se informa acerca del número de tramas recibidas de otras estaciones durante el periodo de medida
- *Channel Load report*: se informa sobre el porcentaje de ocupación del canal durante el proceso de medida mediante técnicas CCA (*Clear Channel Assessment*)
- *Noise Histogram report*: se informa sobre la existencia de fuentes de energía en el canal procedente de dispositivos no 802.11 (hornos microondas o dispositivos *Bluetooth*, por ejemplo) cuando CCA indica que no hay señal 802.11
- *Hidden Node report*: se informa sobre la procedencia y el número de tramas recibidas de nodos ocultos detectados durante el periodo de medida
- *Medium Sensing Time Histogram report*: se crea el histograma de tiempo medio de ocupación y tiempo medio de desuso observados durante el periodo de medida
- *Station Statistic report*: la estación informa acerca de sus estadísticas de calidad del enlace y rendimiento de la red durante el periodo de medida

### 3.3 Situación del estándar y estado de desarrollo comercial

Según las previsiones oficiales del IEEE, este estándar, que se encuentra en un estado muy avanzado de desarrollo, será publicado en octubre de 2007.

Dado que la norma 802.11k está siendo diseñada para ser implementada en software, es posible hacer que los productos Wi-Fi ya existentes cumplan con sus especificaciones mediante actualizaciones del *firmware*, del sistema operativo, etc., aunque tanto los dispositivos del lado del

cliente (adaptadores Wi-Fi, PDAs) como la infraestructura existente (APs, *switches* WLAN...) deberán ser actualizados.

No tenemos noticia en la actualidad de ningún producto comercial que entre las características publicitadas se cuente la de soportar el borrador de la norma 802.11k, aunque ciertos fabricantes como Intel, Cisco o Aruba han producido aplicaciones propietarias que implementan algunas de las funcionalidades previstas en la mencionada norma.

Intel, por ejemplo, desarrolló en 2004 dos algoritmos llamados "*Best AP Selection*" y "*Adaptive MAC Algorithm*" para que sus dispositivos se adapten dinámicamente a un entorno cambiante. Cisco emplea en sus sistemas algoritmos de RRM (*Radio Resource Measurement*) desarrollados por su filial Airespace. Por último, el sistema *Mobile Edge Architecture* de Aruba también dispone de técnicas avanzadas para la elección del punto de acceso durante operaciones de *roaming*.

En general, prácticamente todos los fabricantes de sistemas profesionales e integrados de VoIP utilizan algún tipo de procedimiento inteligente de selección del punto de acceso, pues es fundamental en las operaciones de *roaming* de dispositivos VoIP portátiles. Por tanto, es difícil predecir si la norma 802.11k tendrá tanto éxito comercial como la 802.11a o la 802.11n, aunque, pensando en un futuro en que habrá diversos y distintos fabricantes de infraestructura Wi-Fi y de móviles VoIP o tarjetas de red inalámbricas, está claro que es necesario disponer de un estándar que defina las mediciones necesarias para tomar decisiones de *roaming* o de balanceo de carga.

## 4 802.11n: High Throughput

### 4.1 Propósito general

En enero de 2004 se anunció la formación del TGn (*Task Group n*), un grupo de trabajo del IEEE encargado de desarrollar una nueva revisión del estándar 802.11. Su objetivo principal es alcanzar una velocidad de transmisión de datos de al menos 100 Mbps en el SAP (*Service Access Point*) del nivel MAC del protocolo 802.11. Teóricamente, las redes WLAN existentes en la actualidad tienen la posibilidad de alcanzar velocidades de 54 Mbps, pero en realidad la velocidad de transmisión de datos rara vez supera los 20 Mbps, velocidad que decrece rápidamente cuando aumenta la densidad de dispositivos inalámbricos en la zona. El estándar 802.11n anuncia velocidades teóricas cercanas a los 600 Mbps, es decir, más de diez veces la que se puede alcanzar actualmente con 802.11g o 802.11a. Gracias a ello, aplicaciones que consumen mucho ancho de banda, como el *streaming* de vídeo de alta definición, podrán hacer uso por fin de redes inalámbricas para su transmisión. También se espera que el radio de operación de las redes 802.11n supere los 50 metros, en media.

### 4.2 Mejoras y funcionalidades específicas

El mejor procedimiento para obtener velocidades de transmisión elevadas y aumentar el radio de operación de las mismas consiste en hacer uso de la tecnología MIMO-OFDM (*Multiple Input Multiple Output Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). MIMO-OFDM aumenta la capacidad del enlace inalámbrico usando varias antenas de transmisión y recepción por las que se

transmiten datos de forma simultánea. De esta forma se consigue alcanzar velocidades de transmisión muy superiores a las que proporciona 802.11g sin tener que aumentar el ancho de banda o usar una constelación QAM menos robusta.

Las novedades introducidas con la norma 802.11n son profundas, modificando incluso la capa física y la capa de control de acceso al medio (capas PHY y MAC). Una de las directrices más importantes que se está siguiendo para la definición de la nueva estructura de los paquetes en 802.11n es la posibilidad de interoperar con redes 802.11a y 802.11g, de manera que un punto de acceso 802.11n sea también compatible con clientes cuyos dispositivos inalámbricos pertenezcan a versiones anteriores del protocolo.

### 4.3 Situación del estándar y estado de desarrollo comercial

Esta norma ha sufrido constantes retrasos desde que se empezó a trabajar en ella. Ello muestra los conflictos existentes dentro del grupo de trabajo TGn, desavenencias originadas en el hecho de que pertenecen a él muchos representantes de empresas que tratan de evitar la aprobación de técnicas que hagan que el estándar definitivo sea incompatible con productos que su empresa tiene ya en el mercado.

Inicialmente tres grupos de fabricantes presentaron borradores de la norma:

- MITMOT: formado por Motorola y Mitsubishi.
- WWiSE: formado por Airgo Networks, al que se unieron más tarde Texas Instruments, Broadcom, Conexant, y ST Microelectronics, y más tarde aún, Motorola, tras abandonar su propuesta inicial.
- TGnSync: que incluye a fabricantes de teléfonos como Nokia, Samsung y Sony Ericsson; empresas de redes IP como Cisco Systems y Nortel Networks; y fabricantes de electrónica de consumo como Philips, Sanyo, Sony, Toshiba, y Panasonic.

WWiSE defendía principalmente el uso del espectro de 2.4 Ghz y de canales de 20 Mhz, mientras que TGnSync abogaba por el uso de canales más anchos, de 40 Mhz, en el espectro de 5 Ghz. Ante las interminables discusiones entre grupos, en marzo de 2005 el IEEE empujó al grupo de trabajo a crear un consorcio común para acelerar las investigaciones y crear una propuesta consensuada. Se creó entonces el EWC (*Enhanced Wireless Consortium*) y se aprobó finalmente la propuesta de TGnSync de usar canales más anchos, de 40 Mhz. En enero de 2006 el grupo de trabajo aprobó la propuesta del EWC, pero en mayo de 2006 el IEEE rechazó en *Letter Ballot*<sup>5</sup> el primer borrador preciso, el *Draft 1.0*, que dio lugar a 12000 comentarios acerca de posibles problemas técnicos, muchos más de los esperados inicialmente. Tras solucionar todos los comentarios, el 19 de enero de 2007 se acordó por unanimidad someter la versión 2.0 del borrador a *Letter Ballot* en fechas próximas. Se prevé que esta versión sea lo suficientemente estable como para iniciar los procesos de certificación antes de que el borrador sea finalmente

---

<sup>5</sup> La *Letter Ballot* es una votación interna llevada a cabo por los miembros del grupo de trabajo para evaluar si un borrador del estándar es suficientemente estable como para ser sometido a *Sponsor Ballot*, que es una votación mucho más amplia que la primera. En ambas se requiere un 75% de votos positivos para pasar a la siguiente fase en el proceso de estandarización.

ratificado como estándar, lo cual no sucederá hasta octubre de 2008, según las previsiones del IEEE.

Normalmente, la Wi-Fi Alliance no comienza a realizar pruebas de interoperabilidad para que los productos comerciales puedan obtener certificaciones hasta que el estándar es ratificado, y así se anunció en octubre de 2004, cuando se suponía que 802.11n estaría publicado en marzo de 2007. Sin embargo, tras conocer que la publicación se retrasaría más de un año de lo previsto y dada la gran expectación que habían despertado los productos pre-n, la Wi-Fi Alliance anunció en agosto de 2006 su intención de iniciar una fase previa de certificación de hardware pre-n en la primera mitad de 2007. Dicha certificación se basará en un conjunto mínimo de características contenidas en el primer borrador de la norma aprobado por *Letter Ballot* para marzo de 2007. De no haberse aprobado ningún borrador para dicha fecha, la Wi-Fi Alliance iniciará de todas formas la certificación apoyándose en los trabajos realizados por el grupo hasta la fecha. Una vez el estándar sea ratificado, la Wi-Fi Alliance pasará a la segunda fase de certificación, en la que se probará un conjunto más amplio de características, tratando de garantizar la compatibilidad de los productos certificados en la primera fase con el estándar final.

En cualquier caso, muchos analistas han aconsejado no adquirir hardware basado en borradores de 802.11n hasta que el estándar sea ratificado, ya que, aunque los productos "pre-n" que ya hay en el mercado se basan en técnicas MIMO-OFDM, en el estándar final pueden variar aspectos como las cabeceras de los paquetes y otros elementos que harían incompatibles los productos actuales con el estándar.

Con todo, muchos fabricantes han lanzado sistemas pre-n al mercado: Linksys, Netgear, US Robotics, D-Link... Además, Dell usa chipsets Broadcom Intensi-fi en portátiles XPS e Inspiron, Apple en sus nuevos portátiles MacBook y MacBookPro y sobremesas iMac e Intel en los nuevos Centrino. Según un estudio de ABI Research se espera la venta de decenas de millones de dispositivos pre-n en 2007. La intención de los fabricantes es que sea posible actualizar por software sus productos a la versión definitiva del estándar, pero existe una alta probabilidad de que no sea posible. En ese sentido, ASUS ha garantizado que actualizará todos sus productos pre-n cuando el estándar sea ratificado, ya sea mediante actualizaciones de firmware o incluso sustituyendo gratuitamente el hardware si fuera necesario.

Y, por si no fuera suficiente, Airgo ha confirmado que todos los productos que lleven su chip pre-n -que es usado por Netgear y Linksys entre otros y se corresponde al borrador 1.0 de la norma- afectan profundamente al funcionamiento de redes 802.11 existentes en las cercanías, pudiendo deshabilitarlas completamente. De este hecho se puede deducir que es bastante probable que todos los puntos de acceso de otros fabricantes basados en el borrador 1.0 tengan el mismo comportamiento.

## 5 802.11p: Wireless Access for the Vehicular Environment

### 5.1 Propósito general

La norma 802.11p, también conocida por el acrónimo WAVE (*Wireless Access for the Vehicular Environment*), tiene la misión de definir las mejoras requeridas por el estándar 802.11 de manera que éste pueda ser usado en sistemas de transporte ITS (*Intelligent Transportation Systems*<sup>6</sup>). Asimismo, el protocolo 802.11p será la base sobre la que se desarrollará el DSRC (*Dedicated Short Range Communications*), otro proyecto de estandarización del IEEE impulsado por el ministerio de transporte de Estados Unidos y por un importante número de fabricantes de coches, cuyo objetivo es crear una red nacional de comunicaciones que permita el intercambio de información entre vehículos y la infraestructura viaria.

### 5.2 Mejoras y funcionalidades específicas

Se pretende que DSRC sea un complemento a las redes de móviles al proveer de velocidades de transferencia muy altas en circunstancias en las que es importante minimizar la latencia del enlace de comunicaciones en zonas relativamente pequeñas. Se pretende asimismo que la red pueda ser extendida a todo el territorio norteamericano, que funcione con cualquier condición meteorológica y que se pueda operar con 100 o más vehículos o unidades en cada zona.

Una de las condiciones más importantes para lograr estos propósitos es minimizar la latencia. Tiene que ser posible, por ejemplo, transmitir en menos de 100 milisegundos los mensajes de vehículos de emergencias con información importante, como un accidente. Las pruebas iniciales realizadas mostraron que el protocolo 802.11 es capaz de ofrecer latencias inferiores a las de las redes celulares y otros tipos de redes, por lo que con 802.11p se pretende adaptar este protocolo a los otros requerimientos especiales de DSRC. A lo cual se añade el hecho de que permite además enviar tanto mensajes de tipo *unicast* como de tipo *broadcast*.

DSRC tiene dos usos principales:

- Seguridad vial: sistema de alertas de emergencia para vehículos, prevención de colisiones en intersecciones, alertas de aproximación de vehículos de emergencias, inspecciones de seguridad de vehículos, señalización de prioridad de vehículos, etc.
- Transacciones comerciales e información de viaje: pago automático de servicios como autopistas, parking, etc, información en ruta sobre tráfico, direcciones, restaurantes, etc.

El ancho de banda medio necesario para estas aplicaciones es de unos 6 Mbps, y la cobertura media de 300 metros, pero se prevén máximos de 27 Mbps y 1000 metros en momentos puntuales con potencias de emisión de hasta 28.8 dBm. Actualmente se emplea la banda de frecuencia propietaria de 5,9 GHz en EEUU y 5,8 GHz en Europa y Japón, que reemplazará a la

---

<sup>6</sup> Estos avanzados sistemas comprenden un amplio rango de tecnologías relacionadas con la electrónica y las telecomunicaciones, cuyos objetivos fundamentales son incrementar la capacidad, comodidad y seguridad de los sistemas de transporte, aumentar la productividad económica de dichos sistemas y reducir el consumo de combustible y los costes ambientales asociados. Existen numerosas iniciativas públicas y privadas de desarrollo de sistemas ITS, pero dada la variedad y complejidad de las disciplinas y técnicas involucradas no hay ningún proyecto de estandarización único. En cambio, muchos países han creado sus propias agencias para impulsar la implantación de estos sistemas. Para más información sobre ITS en Europa puede consultarse [www.ertico.com](http://www.ertico.com).

banda de 915 MHz usada en muchos sistemas actuales de pago automático de autovías.

### 5.3 Situación del estándar y estado de desarrollo comercial

Si se cumplen las previsiones, los detalles técnicos de la norma se finalizarán en 2008 y ésta será publicada en abril de 2009. Sin embargo, varias marcas de coches llevan algunos meses implantando sus propias soluciones comerciales.

General Motors, por ejemplo, ha instalado *chips* "OnStar" en más de 3 millones de vehículos en 2006, y éstos estarán presentes en el equipamiento estándar de todos los vehículos nuevos que comercialice en 2007. Los usuarios pueden elegir entre dos modalidades de servicio, por las que deben abonar entre 15 y 35 euros mensuales. Otras marcas como Audi, Subaru o Volkswagen ofrecen la posibilidad de instalar en sus coches este tipo de chip a los clientes que lo soliciten. Estos dispositivos ofrecen monitorización, comunicaciones y servicios de información y seguimiento. Gracias a ellos la policía puede encontrar vehículos robados, se puede notificar un accidente de forma automática a los servicios de emergencia y avisar al conductor de posibles problemas mecánicos, entre otras cosas. Para ello se sirve de contratos con redes de móviles existentes en Estados Unidos. Sin embargo, este sistema ha sido muy criticado debido a las escuchas indiscriminadas y sin autorización judicial por parte del FBI y a los seguimientos no autorizados de vehículos llevados a cabo, lo cual ha conducido a un dictamen judicial en el que se prohíbe expresamente al FBI usar estos chips para espiar las comunicaciones en vehículos sin autorización judicial.

En Japón, Toyota ofrece para todos sus coches un sistema de comunicaciones llamado G-Book que tiene bastantes parecidos con el OnStar, aunque está más orientado a ofrecer información como el estado de las carreteras o direcciones para llegar a un determinado destino. Otras empresas asiáticas como Mitsubishi, Subaru y Daihatsu han mostrado interés por este sistema.

Avis, una de las mayores multinacionales de alquiler de coches, va a ofrecer a sus clientes la posibilidad de alquilar vehículos con un router Wi-Fi que sirva para crear una red 802.11 en torno al mismo con salida a Internet a través de redes 3G. De esta forma sus clientes podrán acceder gratuitamente a Internet con un portátil o PDA desde el coche o en los alrededores del mismo.

DaimlerChrysler, una importante empresa automovilística que fabrica coches de las marcas Chrysler, Jeep y Mercedes-Benz, entre otras, está trabajando intensamente en el desarrollo del estándar DSRC, siendo sus vehículos Mercedes el principal campo de pruebas del mismo. Asimismo, DSRC y 802.11p gozan del apoyo del ministerio de transporte americano y de la FCC (*Federal Communications Commission*). En 2005 DaimlerChrysler llevó a cabo ensayos con redes *ad-hoc* entre sus vehículos para la transmisión automática de información relevante para la conducción. No obstante, para que DSRC muestre su verdadero potencial es necesario crear una infraestructura de comunicaciones a lo largo de toda la red viaria norteamericana, lo cual es muy costoso<sup>7</sup>. DaimlerChryslerOtros fabricantes optan por aprovechar redes de comunicaciones

<sup>7</sup> El Departamento de Transporte de Michigan, en Estados Unidos, inició una serie de pruebas de campo a mediados de 2002 a través de su programa DIRECT (*Driver Information Radio using Experimental Communication Technologies*), cuyo principal objetivo es evaluar las posibilidades de una infraestructura radio para informar a conductores de la presencia de vehículos de emergencia y otros obstáculos.

existentes, como las de móviles. También habrá que tener en cuenta en el futuro las soluciones que aprovechen la potencia y el alcance que puedan ofrecer nuevas tecnologías como WiMAX.

En resumen, parece seguro que la competencia será extraordinaria y que, a pesar de los apoyos institucionales, DSRC y por lo tanto también 802.11p tendrán serias dificultades derivadas de dicha competencia cuando finalmente sean aprobados.

## 6 802.11r: Fast Roaming

### 6.1 Propósito general

La norma 802.11r es un estándar que está siendo desarrollado por el grupo de trabajo TGr del IEEE. Cuando sea finalmente aprobada, esta norma será la especificación de referencia para efectuar transiciones BSS rápidas. Las versiones 802.11a b y g ya permiten transiciones BSS (*Basic Service Set*<sup>8</sup>) para datos gracias al protocolo 802.11f, más conocido como IAPP (*Inter-Access Point Protocol*), pero el tiempo de transición es demasiado grande para el correcto funcionamiento de aplicaciones de voz como el VoIP, o de vídeo, y disminuye la seguridad de las conexiones WPA y WPA2. La norma 802.11r convertirá las transiciones entre puntos de acceso en una operación segura y transparente para el usuario.

### 6.2 Mejoras y funcionalidades específicas

Es de esperar que uno de los principales beneficiados por el protocolo 802.11r sean los móviles y PDAs diseñados para trabajar tanto con redes inalámbricas como con las redes celulares ya presentes. Estos dispositivos necesitan poder desconectarse de un punto y conectarse a otro rápidamente. El retraso producido en este proceso debe ser menor de 50 milisegundos, que es el mínimo intervalo detectable por el oído humano. Sin embargo, los tiempos medios de transición en las redes 802.11 actuales ascienden a varios cientos de milisegundos. Por ello, con la tecnología actual se producen molestos cortes en la comunicación, disminuciones en la calidad de la transmisión e incluso pérdidas completas de conectividad.

Otro problema con los dispositivos móviles 802.11 actuales es que no se puede saber con antelación si los recursos QoS necesarios están disponibles en un nuevo punto de acceso hasta después de la transición. Por ello, no es posible asegurar si dicha transición va a perturbar o no la comunicación. 802.11r mejora el proceso de transición de un cliente móvil mientras se mueve entre puntos de acceso. Este protocolo permite que un cliente inalámbrico establezca unas condiciones de seguridad y calidad de servicio en un nuevo punto de acceso antes de realizar la transición, lo cual hace posible que la pérdida de conectividad sea mínima y pase desapercibida para el usuario.

---

<sup>8</sup> BSS se refiere al conjunto de dispositivos Wi-Fi que pertenecen a una misma red inalámbrica y comparten un mismo punto de acceso a la red. Por tanto, una transición BSS se produce cuando un cliente se desasocia del punto de acceso de la red en la que se encuentra para a continuación asociarse a un PA de otra red.

### 6.3 Situación del estándar y estado de desarrollo comercial

Hasta ahora algunos sistemas de VoIP usaban encriptación WEP para mantener el tiempo de autenticación por debajo de los 20 milisegundos, ya que otras técnicas de encriptación más seguras como TKIP o AES-CCM necesitan tiempos más altos. Sin embargo, usar WEP para la encriptación es muy inseguro, ya que se ha demostrado repetidas veces que es una técnica que puede romperse con facilidad.

Por ello, hasta ahora las empresas han dependido de sistemas integrados propietarios procedentes de fabricantes como SpectraLink, que es el que usan algunos distribuidores como Alcatel o Nortel, entre otros. Obviamente, la capacidad de sistemas propietarios como éste para operar de forma conjunta con sistemas de otros fabricantes es muy limitada.

Se espera que esta situación cambie radicalmente a lo largo del presente año, pues los detalles técnicos de 802.11r estarán cerrados a mediados del mismo, según las previsiones del IEEE, aunque el estándar no se ratificará hasta 2008. Se espera asimismo que los fabricantes de puntos de acceso incluyan en sus dispositivos soporte para este protocolo, que permitirá no depender de una sola empresa ni de protocolos propietarios para disponer de una capacidad de *roaming* segura y estable.

## 7 802.11s: ESS Mesh Networking

### 7.1 Propósito general

802.11s es el estándar en desarrollo del IEEE para redes Wi-Fi malladas, también conocidas como redes *Mesh*. La malla es una topología de red en la que cada nodo está conectado a uno o más nodos. De esta manera es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos.

En los últimos años han surgido numerosos proyectos de implantación de redes Wi-Fi malladas. El nicho en el que esta tecnología parece haberse desarrollado de forma más espectacular es el de las redes Wi-Fi municipales, promovidas y financiadas por ayuntamientos. También denominadas *Metro Wi-Fi*, es un fenómeno que surgió inicialmente en Estados Unidos y que ha conocido en 2006 su año de mayor desarrollo.

Inicialmente estos sistemas se concibieron como una forma económica de satisfacer las necesidades de comunicaciones de los ayuntamientos y de los servicios de emergencia, pero últimamente la utilización de Wi-Fi se está planteando como una alternativa gratuita o de bajo coste para proporcionar servicios de banda ancha.

### 7.2 Mejoras y funcionalidades específicas

Según la normativa 802.11 actual, una infraestructura Wi-Fi compleja se interconecta usando LANs fijas de tipo Ethernet. 802.11s pretende responder a la fuerte demanda de infraestructuras WLAN móviles con un protocolo para la autoconfiguración de rutas entre puntos de acceso mediante topologías multisalto. Dicha topología constituirá un WDS (*Wireless Distribution System*)

que deberá soportar tráfico *unicast*, *multicast* y de *broadcast*. Para ello se realizarán modificaciones en las capas PHY y MAC de 802.11 y se sustituirá la especificación BSS (*Basic Service Set*) actual por una más compleja conocida como ESS (*Extended Service Set*).

Aún no se conoce mucho de los detalles técnicos del estándar, pero parece que la redacción del mismo se está orientando de forma preferente a dotar a la multitud de puntos de acceso aislados existentes en viviendas y oficinas de la capacidad de conectarse con nodos exteriores pertenecientes a una red Mesh metropolitana existente. De esta forma el grupo de trabajo evitará que sus desarrollos se solapen con las avanzadas tecnologías desarrolladas desde hace años por los fabricantes comerciales de redes Mesh metropolitanas, pero podrá hacer uso de las mismas para ofrecer al usuario final una plataforma estable desde la que acceder a nuevas aplicaciones y servicios. Otra ventaja añadida consiste en que se mejorará la ocupación del espectro radioeléctrico urbano al conectarse el cliente a su propio AP, y no directamente al nodo exterior.

Por último, se pondrá especial énfasis en que 802.11s recoja las mejoras en cuanto a tasa binaria, calidad de servicio y seguridad que se incorporen en 802.11n, 802.11e y 802.11i, respectivamente.

### 7.3 Situación del estándar y estado de desarrollo comercial

Los trabajos del grupo TGs están todavía lejos de su aprobación final. La petición de propuestas inicial para este protocolo acabó en junio de 2005 con 15 propuestas, que fueron reducidas progresivamente hasta acabar con dos, apoyadas por dos grupos distintos de empresas:

- ? La Wi-Mesh Alliance (WiMA), formada por Nortel, Thomson, Philips e InterDigital, entre otras, cuya propuesta fue diseñada para poder ser usada tanto por usuarios independientes y pequeñas empresas como por municipios e incluso para aplicaciones militares.
- ? SEE (*Simple Efficient Extensible*) Mesh, liderada por Intel y apoyada por Nokia, Motorola, NTT DoCoMo y Texas Instruments, entre otras, cuya propuesta introducía como principal novedad los “portales Mesh”, que ofrecerían interoperabilidad en redes malladas permitiendo que cualquier equipamiento Wi-Fi ya existente pudiera ser integrado en una red Mesh.

En marzo de 2006 se consiguió unificar ambas propuestas, y en noviembre de 2006 aparecieron los primeros borradores que serán votados en enero de este año. Aún así, se prevé que la publicación del estándar se demore, como mínimo, hasta octubre de 2008, aunque los detalles técnicos podrían estar acabados a mediados de ese año.

Es significativo que algunas de las compañías más importantes de redes Mesh Wi-Fi no han solicitado participar en el proceso de estandarización de 802.11s. Fabricantes como BelAir Networks, Tropos Networks, RoamAD y Strix Systems no están presentes en ninguno de los grupos que presentaron propuestas en su día. Por otra parte, en un estudio de DailyWireless se cifra en 300 el número de ciudades en Estados Unidos con redes municipales activas o planes avanzados de desarrollo, mientras que en España la empresa Neomedia sitúa dicha cifra en 40 municipios, aproximadamente. Detrás de la mayor parte de estas instalaciones se encuentra

alguna de las empresas mencionadas, por lo que todo parece indicar que 802.11s no pretende competir con la tecnología desarrollada por éstas, sino cubrir el pequeño nicho de la interacción con el usuario final.

## 8 802.11u: InterWorking with External Networks

### 8.1 Propósito general

El grupo de trabajo TGu, también conocido como WIEN SG (*Wireless Internetworking with External Networks Study Group*), está desarrollando una revisión del estándar 802.11 que facilitará la interoperabilidad con redes externas. La proliferación de *hotspots* y dispositivos móviles con conectividad Wi-Fi que se ha producido en los últimos años ha puesto de manifiesto la necesidad de crear una norma dentro de 802.11 que especifique los requisitos y las interfaces entre redes 802.11 y otras redes externas como las redes celulares de móviles.

Las redes 802.11 actuales asumen que un usuario está siempre autorizado para solicitar el acceso a la red. 802.11u afronta aquellos casos en los que no es así, de esta forma, una red podrá permitir el acceso a un usuario en base a la relación de éste con una red externa, como la de un proveedor de móviles. También puede ofrecer servicios diferentes a distintos grupos de usuarios, en función de las características contratadas.

Desde la perspectiva del usuario, el objetivo es mejorar la experiencia de aquellos usuarios que acceden a redes Wi-Fi desde puntos muy diferentes de la geografía. Para un cliente de un hotel, por ejemplo, esto significaría que al comprobar la conectividad Wi-Fi de su portátil o PDA no vería una simple lista de redes identificadas por sus SSIDs, sino que se le presentaría una completa lista de redes diferenciadas en función de los servicios ofrecidos por las mismas y las condiciones de acceso a la red, que dependerían del contrato firmado por el cliente con un proveedor. También podría anunciarse la posibilidad de acceder a una red previo pago de una cantidad, pero en cualquier caso, siempre se ofrecerán unos servicios mínimos que permitirán realizar llamadas de emergencia, por ejemplo.

### 8.2 Mejoras y funcionalidades específicas

Será necesario realizar modificaciones en las capas PHY y MAC del estándar 802.11 para permitir la interacción en el espectro radioeléctrico y la creación de primitivas e interfaces que definan un protocolo propio. Las principales cuestiones concretas que pretende resolver el grupo de trabajo WIEN SG son:

- **Detección y selección de red:** proporcionar información a las estaciones acerca de las características de la red para permitir la selección de la red correcta. Para ello, se investigarán aspectos relacionados con la escalabilidad de las tramas de *beacon*.
- **Portal seguro y coexistencia con 802.11i:** la mayoría de *hotspots* actuales utilizan portales para realizar la autenticación. Se necesita una solución nueva que contemple mecanismos para añadir nuevos usuarios en redes con 802.11i habilitado y permita que

802.11i opere completamente en paralelo.

- **Privacidad:** para garantizar el anonimato en algunas circunstancias concretas protegiendo la dirección MAC.
- **Aplicación de normas y políticas de la red:** se desarrollarán mecanismos para asegurar el cumplimiento a todos los efectos de las normas establecidas para cada red. Tiene especial importancia la forma de aplicar en la red 802.11 normas procedentes de redes externas, como en un escenario donde varios proveedores comparten la infraestructura del *hotspot* Wi-Fi.
- **Calidad de servicio:** se refiere a los posibles requisitos sobre QoS de clientes procedentes de una red externa.
- **Facturación:** se crearán registros de tiempo de acceso y tráfico transferido para posibilitar el cobro por el servicio ofrecido. Asimismo, es necesaria una técnica para transferir esta información a otras redes.
- **Identificación del router de acceso:** esta característica se implementará en la trama de *beacon* o bien utilizando alguno de los mecanismos dispuestos por 802.11k, y permitirá saber si la transición se realizó a nivel 2 ó 3 de la torre OSI.

### 8.3 Situación del estándar y estado de desarrollo comercial

Las previsiones oficiales del IEEE retrasan la publicación del estándar 802.11u hasta marzo de 2009. No obstante, varios operadores de telefonía móvil y empresas especializadas en la creación de *hotspots* Wi-Fi tienen ya acuerdos para expandir la cobertura de sus redes y ofrecer a sus clientes conectividad Wi-Fi, 2G y 3G. En Estados Unidos, Vonage Holdings permite a sus clientes que realicen llamadas VoIP de forma inalámbrica, ya sea a través de un punto de acceso presente en sus viviendas o gracias a un acuerdo con Boingo Wireless, que tiene desplegados *hotspots* en aeropuertos y otros puntos de todo el mundo. Por otro lado, T-Mobile tiene más de 25000 redes Wi-Fi desplegadas en cafeterías, tiendas y hoteles de muchos países y Telefónica también opera *hotspots* llamados "Zonas ADSL Wi-Fi" en varios países.

Algunos analistas creen que las redes celulares deberán coexistir y cooperar totalmente con Wi-Fi. Un posible escenario de uso contempla 2G, 2,5G o 3G como la red por defecto a usar a nivel nacional, mientras que en zonas metropolitanas densamente pobladas los teléfonos móviles podrían hacer uso de redes 802.11, que son comparativamente baratas de instalar y ofrecen un gran ancho de banda en distancias cortas. En este sentido, Motorola está colaborando con el fabricante de hardware inalámbrico Proxim y con Avaya, especializada en VoIP, para desarrollar *smartphones* duales y la infraestructura necesaria para que los usuarios puedan cambiar de redes móviles celulares a *hotspots* Wi-Fi de forma transparente. Cisco, por su lado, está contribuyendo a 802.11u con una variante de su sistema CCX (*Cisco Compatible Extensions*) que, integrado en sus puntos de acceso, ya permite a operadores de móviles acceder a los datos necesarios para efectuar transiciones a la red Wi-Fi. Se espera que la publicación de 802.11u impulse la reducción de los costes de este tipo de equipos.

Existe confusión sobre las diferencias entre los objetivos perseguidos por 802.11u y por 802.21.

Este último es un estándar en desarrollo cuya publicación se prevé para mediados de 2007, y que investiga algoritmos para la transición entre redes celulares y cualquier tipo de red inalámbrica IEEE 802, como WiMAX o Bluetooth. Sin embargo, en 802.11u sólo se consideran aspectos relativos a Wi-Fi, proporcionando los mecanismos de acceso necesarios para que otros protocolos como 802.21 puedan definir transiciones a redes Wi-Fi desde otras redes. En todo caso, las normas de trabajo del IEEE impiden que 802.21 realice modificaciones a 802.11, ya que pertenecen a estándares diferentes. A este respecto, es importante destacar que existe un acuerdo de colaboración entre IEEE 802.21 y IEEE 802.11 para compartir las investigaciones de cada grupo de trabajo y evitar la duplicación de objetivos.

## **9 Otros estándares de interés**

Hasta ahora han sido explicados algunos de los estándares más recientes del IEEE, centrándonos en aquellos que han despertado mayor interés en los últimos años. En este capítulo se incluyen otros estándares menos conocidos, ya sea por su reciente creación o por tener objetivos de menor importancia.

### **9.1 802.11T: Wireless Performance Prediction**

En julio de 2004 el IEEE formó el grupo de trabajo 802.11T, cuyo objetivo es crear un conjunto de niveles de rendimiento, pruebas recomendadas y métodos de medida que permitan que tanto fabricantes y proveedores de servicios como laboratorios independientes y usuarios finales puedan medir el rendimiento de hardware y redes Wi-Fi. Se incluirán pruebas ya extendidas en redes LAN como las relativas a velocidad de transferencia, pérdida de paquetes, latencia y ruido, pero será necesario incluir nuevas medidas inherentes a la comunicación sin cables, como la velocidad en función del número de clientes y de la distancia, el ruido RF y otras muchas que están aún por definir. Se prevé que esté finalizada para 2009. La T mayúscula indica que las conclusiones de este proyecto no constituirán una norma, sino tan solo una práctica recomendada.

### **9.2 802.11v: Wireless Network Management**

Este grupo de trabajo introducirá pequeños cambios en las capas PHY y MAC para mejorar la configuración y gestión de dispositivos Wi-Fi mediante SNMP y otros protocolos. Los trabajos, que acaban de empezar, acabarán a principios de 2010.

### **9.3 802.11w: Protected Management Frames**

Se aumentará la seguridad introduciendo mejoras en la capa MAC. Se pretende solucionar una vulnerabilidad de las redes Wi-Fi, consistente en que se envía información de gestión en paquetes no protegidos. Este estándar evitará cortes de servicio causados por atacantes que falsifiquen peticiones de desasociación aparentando proceder de sistemas válidos. Se prevé que esta norma sea publicada a finales de 2008.

## 9.4 Otros

El estándar 802.11y, cuya aprobación está prevista para 2008, responde a los requerimientos de la normativa radioeléctrica estadounidense para el uso de la banda de 3650-3700 MHz. El grupo de trabajo TGma publicará en mayo de 2007 las revisiones editoriales y corrección técnicas secundarias realizadas al estándar 802.11 que faciliten su correcta interpretación.

## 10 Tabla de comparación

<u>Estándar</u>	<u>Funcionalidad principal</u>	<u>Fecha estimada de publicación</u>	<u>Existencia de productos comerciales pre-estándar</u>
802.11e	Mejoras en capa MAC	publicado en noviembre de 2005	Sí
802.11k	Mediciones y registros de rendimiento	octubre de 2007	Sí
802.11n	Alta velocidad de transmisión	octubre de 2008	Sí
802.11p	Wi-Fi en vehículos	abril de 2009	No
802.11r	Transiciones entre puntos de acceso	abril de 2008	Sí
802.11s	Redes Mesh 802.11	octubre de 2008	Sí
802.11u	Interoperabilidad con otras redes	marzo de 2009	No

## 11 Bibliografía

- S. Mangold, L. Berlemann. "IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications", volumen 2, septiembre de 2005, páginas 1009 a 1013.
- S. Mangold, Zhun Zhong, K. Challapali, Chun-Ting Chou. "Spectrum agile radio: radio resource measurements for opportunistic spectrum usage", Global Telecommunications Conference, volumen 6, diciembre de 2004, páginas 3467 a 3471.
- Yang Xiao. "IEEE 802.11n: Enhancements for Higher Throughput in Wireless LANs", volumen 12, número 6, diciembre de 2005, páginas 82 a 91.
- Varios, "The 802.11n MIMO-OFDM Standard for Wireless LAN and Beyond", Wireless Personal Communications: An International Journal, volumen 37, número 3-4, mayo de 2006, páginas 445 a 453.
- Dylan Larson, Ravi Murty, Emily Qi. "An Adaptive Approach to Wireless Network Performance Optimization", Technology Intel Magazine, febrero/marzo de 2004.
- Kiran Challapali, Stefan Mangold, Zhun Zhong. "Spectrum Agile Radio: Detecting Spectrum Opportunities", Wireless Communications and Networking Department, Philips Research Laboratories.
- Ignacio Berberana. "Las redes municipales WiFi a examen", Telefónica I+D, octubre de 2006.
- Arthur A. Carter. "The status of vehicle-to-vehicle communication as a means of improving crash prevention performance", United States of America National Highway Traffic Safety Administration. Paper Number 05-0264.
- Dan Simone. "802.11k makes WLANs measure up", Network World, marzo de 2004.
- Drew Robb. "802.11k Management Standard Ahead", Computerworld, octubre de 2003.
- Pat Calhoun, Bob O'Hara. "802.11r strengthens wireless voice", Network World, agosto de 2005.
- <http://ieee.org>
- <http://www.redesmalladas.com>
- <http://en.wikipedia.org>
- <http://www.tecnowifi.com>
- <http://informationweek.com>
- <http://www.wi-fi.org>
- <http://itweek.co.uk>
- <http://intel.com>
- <http://www.wi-fiplanet.com>
- <http://www.wsdmag.com>
- <http://www.itsespana.com>
- <http://www.its.dot.gov>
- <http://www.iwe-x.com>