



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



ESTUDIO DEL IMPACTO DE  
IEEE802.11N SOBRE LAS REDES  
WIRELESS EN EL PERÚ

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO DE LAS TELECOMUNICACIONES  
PRESENTADO POR

LUIS FELIPE HERNÁNDEZ CORREA

LIMA – PERÚ

2007

## RESUMEN

El desarrollo de las telecomunicaciones crece día a día en gran medida debido a la demanda que los usuarios requieren para el desarrollo de sus aplicaciones. Además, el aporte de las telecomunicaciones en Telemedicina y Tele-educación ha llevado así mismo a una convergencia de voz, datos y video que conlleva al desarrollo de tecnologías de acceso de banda ancha que permitan manejar el tráfico otorgando un *throughput* adecuado y una estabilidad que permita una cobertura adecuada para la aplicación en dispositivos móviles. La tecnología 802.11n nace como una solución de acceso y es debido a esto que en esta tesis se realiza un estudio del impacto tecnológico y económico que tendrá la tecnología 802.11n en las redes futuras. Ya en el transcurso de estos últimos años se están logrando adaptaciones de la tecnología WiFi 802.11b/g para obtener una solución en zonas no urbanas de difícil acceso en países en desarrollo como el nuestro. Al ser un país en desarrollo, resulta importante el obtener soluciones de bajo costo para lograr enlaces de larga distancia que permitan el acceso en zonas no urbanas aisladas. En esta tesis se estudia la tecnología 802.11n, detallando las modificaciones realizadas en la capa MAC y Física respecto de las tecnologías legadas. Así mismo, cuales serán los resultados como solución de acceso en redes de área local y como podría influir esta tecnología como solución de enlaces punto a punto y punto multipunto de banda ancha en zonas no urbanas. Para esto se analizarán las condiciones de adaptación que deben ser consideradas para lograr los escenarios propuestos en zonas no urbanas de difícil acceso. Finalmente siguiendo los parámetros del último *draft* se determinará si esta tecnología podría ser en un futuro una solución paralela a otras tecnologías para realizar un enlace de banda ancha de larga distancia.

Esta tesis está dedicada a mi familia  
en especial a mis padres por su constante apoyo  
y a Dios por darle sentido a todo el esfuerzo dedicado



Agradezco a mis padres, así como a mis amigos  
y al grupo EHAS por su constante apoyo  
para culminar esta tesis con éxito



## INDICE

Lista de figuras .....	vi
Lista de tablas .....	vii
Introducción.....	1
Capítulo I: Estudio de la evolución del estándar 802.11.....	2
Redes inalámbricas.....	3
Definición WLAN/WMAN .....	3
Aplicaciones.....	4
Historia.....	5
Evolución técnica de los protocolos 802.11 .....	6
Seguridad en tecnologías inalámbricas .....	7
Comentarios generales .....	11
Estudio de las redes inalámbricas en el Perú .....	14
Proyectos basados en redes WLAN .....	14
Redes WiMAX en el Perú.....	16
Capítulo II: Caracterización des estándar 802.11n.....	20
Características técnicas del estándar 802.11n.....	20
MIMO .....	21
Mejora de la eficiencia en la MAC.....	22
Propuesta WWiSE.....	23
Propuesta TGnSync .....	28
Productos 802.11pre-n en el mercado mundial.....	33
Capítulo III: Identificación de las áreas de impacto .....	38
Hipótesis.....	38
Parámetros a considerar.....	39
Aspectos de la capa Física.....	40
Aspectos de la capa MAC.....	53
Arquitectura de redes WiFi 802.11 de larga distancia.....	59
Áreas urbanas.....	62
Áreas rurales.....	67
Capítulo IV: Estudio de impacto caso por caso.....	72
Impacto a nivel hardware .....	72
Impacto en la topología .....	73
Impacto en seguridad.....	74
Impacto tecnológico.....	76
Impacto económico.....	81
Impacto en Áreas Urbanas.....	84
Impacto en Áreas Rurales.....	88
Impacto de las redes 802.11n en el Perú .....	88
Conclusiones.....	90
Bibliografía.....	92
Anexo 1 .....	Productos 802.11pre-n
Anexo 1.1 .....	WAP440N
Anexo 1.2.....	WNR834B

Anexo 1.3 ..... WNR854T  
Anexo 1.4 ..... WZR-G300N-3



## LISTA DE FIGURAS

<i>Número</i>	<i>Página</i>
1. Esquema de Canales Banda 2.4Ghz.....	12
2. Tecnología MIMO.....	22
3. Agregación WWiSE.....	25
4. Protección TGnSync - NAV.....	30
5. Tasa de transferencia de equipos 802.11pre-n.....	35
6. Rendimiento en la carga/descarga en 802.11pre-n.....	35
7. Rendimiento respecto de la distancia en 802.11pre-n.....	36
8. Cobertura en 802.11pre-n.....	42
9. Velocidad Inalámbrica.....	43
10. Test de interoperabilidad de equipos 802.11pre-n.....	43
11. Test de tasa de transferencia a corta, media y larga distancia.....	44
12. Cuadro comparativo del rendimiento 802.11pre-n según la distancia.....	45
13. Test de tasa de transferencia a corta, media y larga distancia con encriptación.....	46
14. Test WNR854T.....	47
15. Funcionamiento de DCF, tomando en cuenta el tiempo de propagación.....	54
16. TGNSync gran NAV, tomando en cuenta el tiempo de propagación....	54
17. BlockACK definido por TGNSync en una red de área local.....	57
18. BlockACK TGNSync en una comunicación a larga distancia.....	58
19. Cobertura inalámbrica MTC -Piso 11.....	63
20. Red MESH Wi-Fi Cusco-Perú.....	68
21. Seguridad WPA2 con servidor de autenticación.....	76
22. Interoperabilidad WiFi 802.11n WiMAX.....	78
23. Compatibilidad de los equipos 802.11pre-n con 802.11b.....	80
24. Banda PLC.....	80
25. Conexión por la red eléctrica.....	82
26. Escenario 802.11n.....	83



27. Compatibilidad de los equipos 802.11pre-n con 802.11b ..... 86



## LISTA DE TABLAS

<i>Número</i>		<i>Página</i>
1	Reglas WWiSE para STBC.....	26
2	Sensibilidad de recepción WWiSE.....	27
3	Parámetros físicos WWiSE.....	28
4	Tasa de transferencia a/b/g/n .....	48



## *Introducción*

Las redes inalámbricas de área local (WLAN) tienen un papel importante en las comunicaciones del mundo de hoy. Debido a su facilidad de instalación y conexión, se han convertido en una excelente alternativa para ofrecer conectividad en lugares donde resulta inconveniente o imposible brindar servicio con una red alamburada. La popularidad de estas redes ha crecido a tal punto que los fabricantes de computadores y tarjetas madre integraron dispositivos para acceso a WLAN en sus equipos; tal es el caso de Intel, que comenzó a fabricar el *chipset* Centrino para computadores portátiles. En sus inicios, las aplicaciones de las redes inalámbricas fueron confinadas a industrias y grandes almacenes. Hoy en día, las redes WLANs son instaladas en universidades, oficinas, hogares y en espacios públicos. Las WLANs típicamente consisten de computadoras portátiles o de escritorio que se conectan a dispositivos fijos llamados "puntos de acceso ó AP" (*access points*) vía señales de radio o infrarrojo. Las implementaciones de las WLAN's abarcan todas las modalidades posibles desde las PAN's (*Personal Area Networks*), MAN's (*Metropolitan Area Network*) hasta las WAN's (*Wide Area Networks*). Las PAN's son redes inalámbricas de corto alcance, generalmente para uso en interiores a pocos metros. Mientras que las redes inalámbricas tipo WAN y MAN consisten de torres y antenas que transmiten ondas de radio o usan tecnología de microondas para conectar redes de área local, utilizando enlaces punto-punto y punto-multipunto. Su importancia está dada por su facilidad para ofrecer conectividad en lugares donde resulta inconveniente o imposible brindar servicio con una red Lan.

*Capítulo 1*  
*Estudio de la evolución del estándar*  
*IEEE 802.11*

El primer estándar de protocolo de comunicaciones WLAN lo generó el organismo IEEE en el año 1997 y se denomina IEEE 802.11 ó WIFI el cual define el uso de los dos primeros niveles de la arquitectura OSI. Desde entonces varios organismos internacionales han desarrollado una amplia actividad en la estandarización de normativa de WLAN. En USA el desarrollo está a cargo del organismo IEEE con los estándares 802.11 y sus variantes (b, g, a, e, h,..) y en Europa el organismo relacionado es el ETSI con sus actividades en Hiperlan-BRAN. Debido a la baja velocidad ofrecida por el estándar 802.11 (hasta 2Mbps), en 1999 surgieron los estándares 802.11b y 802.11a y posteriormente en el año 2003 surge el estándar 802.11g el cuál es compatible con el protocolo 802.11b pero ofrece una mayor tasa de transferencia (hasta 54Mbps). [1]

## 1.1 Redes Inalámbricas

- **Definición WLAN/WMAN**

WLAN (*Wireless Local Area Network*) es un sistema de comunicación de datos inalámbrico frecuentemente utilizado como alternativa a las redes LAN cableadas o como extensión de estas. Este sistema utiliza ondas de radio para llevar la información de un punto a otro sin necesidad de un medio físico guiado. De esta forma, se realiza la modulación donde la información viaja sobre las portadoras de radio hasta el receptor remoto. Gracias a que utiliza la tecnología de radiofrecuencia, ésta permite mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas. Este tipo de redes van adquiriendo con el tiempo una mayor importancia permitiendo la transmisión en tiempo real. Si bien la movilidad permite a este tipo de redes mejorar su productividad y posibilidades de servicio también se puede destacar la facilidad de instalación. Al no usar cables, se evita el tener que realizar un recorrido para cada punto de red y con esto se reduce el tiempo de instalación. Asimismo se reduce el tiempo de acceso a usuarios temporales al permitirles un acceso casi instantáneo. Finalmente podemos decir que este tipo de redes se caracteriza por su flexibilidad debido a que puede permitir un acceso a lugares donde el cable no puede, superando mayor número de obstáculos llegando a atravesar paredes. De esta forma, este tipo de redes inalámbricas resulta menos costoso a las redes cableadas y se vuelven una solución propicia para lugares donde el acceso es realizado principalmente por usuarios temporales.

A diferencia de WLAN, La tecnología WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*) permite a los usuarios establecer conexiones inalámbricas entre varias ubicaciones dentro de un área metropolitana, sin el alto coste que supone la instalación de cables de fibra o cobre y el alquiler de las líneas. WMAN utiliza ondas de radio o luz infrarroja para transmitir los datos. Las redes de acceso inalámbrico de banda ancha,

que proporcionan a los usuarios acceso de alta velocidad, tienen cada vez mayor demanda. Aunque se están utilizando diferentes tecnologías, como el servicio de distribución multipunto de canal múltiple (MMDS) y los servicios de distribución multipunto locales (LMDS), el grupo de trabajo de IEEE 802.16 para los estándares de acceso inalámbrico de banda ancha sigue desarrollando especificaciones para normalizar el desarrollo de estas tecnologías.

- **Aplicaciones**

Las aplicaciones pueden ser múltiples para WLAN y mucho va a depender de la configuración que se tenga. La más básica se da entre dos computadoras equipadas con tarjetas adaptadoras para WLAN, de modo que pueden poner en funcionamiento una red independiente siempre que estén dentro del área que cubre cada uno. Esto es llamado red peer to peer. Cada cliente tendría únicamente acceso a los recursos del otro cliente pero no a un servidor central. Este tipo de redes no requiere administración o preconfiguración. Ahora si se instala un punto de acceso se puede doblar la distancia a la cuál los dispositivos pueden comunicarse, ya que estos actúan como repetidores. Desde que el punto de acceso se conecta a la red cableada cualquier cliente tiene acceso a los recursos del servidor y además gestionan el tráfico de la red entre los terminales más próximos. Si bien se tiene una capacidad de acceso amplia con un solo punto de acceso también se tiene un límite para con el alcance. Actualmente se tiene un alcance de 150m en lugares u zonas abiertas, con esto, se tiene claro que para tener una cobertura adecuada en lugares abiertos como un campus universitario, van a ser necesarios varios puntos de acceso. Si tomamos en cuenta las aplicaciones de una WLAN para largas distancias podemos decir que existen múltiples aplicaciones usando una antena direccional que permita lograr distancias considerables para unir WLAN. Gracias a la configuración de tarjetas con la tecnología 802.11 b/g se hace posible

lograr enlaces punto a punto de larga distancia, a pesar de que las limitaciones para con la cobertura en larga distancia, resulta finalmente suficiente dependiendo de las aplicaciones requeridas. Asimismo, las tecnologías WMAN sirven generalmente como copia de seguridad para las redes con cable, en caso de que las líneas principales para las redes con cable no se encuentren disponibles. Asimismo se puede decir que existen redes de conmutación de paquetes (públicas y privadas) y redes telefónicas celulares, siendo estas últimas las que más dificultades presentan en cuanto a costo debido a que los módems celulares actualmente son más caros y delicados que los convencionales, ya que requieren circuitería especial, que permite mantener la pérdida de señal cuando el circuito se alterna entre una célula y otra. Esto lleva a que la comunicación celular se utilice únicamente para archivos pequeños. Finalmente como otro ejemplo de aplicación se puede mencionar la red pública de conmutación de paquetes por radio. Estas redes no tienen problemas de pérdida de señal debido a que su arquitectura está diseñada para soportar paquetes de datos en lugar de comunicaciones de voz.

- **Historia**

Las redes inalámbricas nacen desde el año 1997 cuando el organismo regulador IEEE publicó el estándar 802.11. Su desarrollo comienza a partir de que la FCC, el organismo americano encargado de regular las emisiones radioeléctricas, aprobó el uso civil de la tecnología de transmisiones de espectro disperso, aunque si consideramos su real uso podemos decir que ya se usaba en ámbitos militares desde la segunda guerra mundial debido a sus características en cuanto a la dificultad de detección y su tolerancia a interferencias externas. A pesar de contar con esta tecnología desde 1997, su desarrollo no ha sido muy eficaz debido a que los precios eran muy elevados, al pasar de los años el precio de los dispositivos que las conforman han disminuido de manera

tal que en la actualidad cada vez más se encuentran equipos que pueden competir en precios con los modelos para redes cableadas.

## 1.2 Evolución técnica de los protocolos 802.11:

**802.11:** Estándar original de la IEEE conocido, aprobado en el año 1997[1] también como 802.11legacy, especifica velocidades de transmisión teóricas de 1 a 2Mbps que se transmiten por señales infrarrojas en la banda de ISM a 2.4Ghz, define el protocolo CSMA/CA (*Carrier sense multiple access with collision avoidance*) como método de acceso. En la actualidad no se fabrican productos sobre este estándar debido a su baja velocidad de transmisión y a su incompatibilidad con otros protocolos.

**802.11a:** Estándar conocido como WIFI5. Aprobado en el año 1999. En el año 2001 aparece en el mercado con los productos 802.11a, usa el mismo juego de protocolos que el estándar original, opera en la banda de 5Ghz, utiliza 52 subportadoras OFDM (*Orthogonal frequency division multiplexing*), opera con un ancho de banda de canal de 25Mhz y ofrece una velocidad de transmisión teórica de hasta 54Mbps [1]. Cuenta con 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto.

**802.11b:** Estándar aprobado en el año 1999. Ofrece una velocidad teórica máxima de 11Mbps, opera con un ancho de banda de canal de 25Mhz y utiliza el método de acceso CSMA/CA. Opera en la banda ISM de 2.4Ghz y utiliza la interfaz aire DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*). [1] Debido al espacio ocupado por la codificación del protocolo CSMA/CA, es que se obtiene una velocidad real de 5.9Mbps sobre TCP y 7.1Mbps sobre UDP.



**802.11g:** Estándar aprobado en el año 2003, surge como evolución del estándar 802.11b. De esta manera 802.11g ofrece una velocidad teórica máxima de 54Mbps en la banda de 2.4Ghz aunque la velocidad de transmisión real sea de 24.7Mbps, sus interfaces aire son DSSS y OFDM. [1] Al ser compatible con 802.11b, utiliza las mismas frecuencias de operación, de esta manera 802.11g reemplaza a 802.11b en las redes inalámbricas. Su compatibilidad le generó a éste una popularidad que permitió que sus productos llegaran al mercado antes de que se ratifique el estándar.

**802.11n:** Estándar aún no aprobado, surge como evolución del estándar 802.11g. De esta manera 802.11n ofrece una velocidad teórica máxima de 540Mbps en las bandas de 2.4Ghz y 5Ghz otorgando una velocidad mínima de transmisión de 100Mbps y tiene un radio de cobertura de 300Km. Este nuevo estándar usa una modulación de 16QA y 64QAM que le permite lograr ese incremento de velocidad de transmisión. Al ser compatible con el estándar 802.11b/g, utiliza las mismas frecuencias de operación, de esta manera 802.11n reemplaza a los equipos 802.11b/g en las redes inalámbricas, aunque se propone una convivencia con los estándares 802.11b/g para una correcta administración del ancho de banda. Actualmente existen dos grupos trabajando en esta tecnología, TGnSync y WWiSE (*World-Wide Spectrum Efficiency*)[8]. Ambos grupos, fabricantes de chips basados en esta tecnología, hacen uso de la tecnología MIMO (*Multiple-input/Multiple-output*) y trabajan en canales de 20Mhz con opción a doble banda de 40Mhz.

### 1.3 Seguridad en tecnologías inalámbricas:

El acceso sin necesidad de cables, la razón que hace tan populares a las redes inalámbricas, es a la vez el problema más grande de este tipo de redes en cuanto a seguridad se refiere. Cualquier equipo que se encuentre a 100 metros o menos de un punto de acceso, podría tener

acceso a la red inalámbrica. Si bien, la flexibilidad y la movilidad proporcionada por las nuevas redes inalámbricas han permitido que el desarrollo de estas redes crezca sobre manera, por otro lado nos ha llevado a darnos cuenta del peligro existente debido a la utilización de un medio de transmisión tan observable como son las ondas de radio. De esta forma, estas redes se someten a posibles ataques por inserción ya sea por un usuario no autorizado o por la ubicación de un punto de acceso ilegal con mayor potencia que capte las estaciones en vez del punto de acceso legítimo. A pesar de los riesgos también existen soluciones y mecanismos de seguridad.

Como punto de partido podemos mencionar el primer mecanismo de seguridad WEP (*Wired Equivalent Protocol*), siendo este un sistema de encriptación estándar propuesto por 802.11, implementado en la capa MAC. WEP comprime y cifra los datos que se envían a través de las ondas de radio. Con WEP, la tarjeta de red encripta el cuerpo y el CRC de cada trama 802.11 utilizando el algoritmo de encriptación RC4 proporcionado por RSA Security. La estación receptora, ya sea un punto de acceso o una estación cliente es la encargada de descifrar la trama. Asimismo WEP especifica una llave compartida de 40 o 64 bits para encriptar y descifrar. A pesar de esto, WEP resulta ser muy vulnerable debido a la insuficiente longitud del vector de inicialización y debido a que la llave de cifrado no varía, permitiendo que un intruso pueda encontrar la llave compartida capturando cierto número de tramas. WEP resulta ser muy vulnerable y uno de los ataques más conocidos es el inductivo Arbaugh, demostrado por William A. Arbaugh el cual se basa en explotar la vulnerabilidad de MIC independiente de la llave aprovechando también la redundancia de información producida por el CRC.

Con esto, 802.11 se forma el comité 802.11i para mejorar los aspectos de la seguridad en las redes inalámbricas. Gracias a esto la seguridad en redes inalámbricas empieza a evolucionar de manera que aparecen los

protocolos ULA (*Upper Layer Protocol*), los cuales que permiten el intercambio de autenticación entre el cliente y un servidor de autenticación. Con esto, se introducen cambios fundamentales en tres puntos importantes, organizados en dos capas. El estándar 802.1x nace para permitir el control de acceso a la red basado en puertos, con esto se mejora de tal forma que ahora el cliente debe ser autenticado con el servidor para tener acceso a los servicios ofrecidos por la red. Asimismo existe una generación automática de llaves y también se debe tomar en cuenta que la llave de encriptación pasa a ser única para cada estación. El estándar TKIP nace para resolver las deficiencias del algoritmo WEP y mantener la compatibilidad con el hardware utilizado actualmente mediante una actualización del *firmware*. De esta forma, TKIP cuenta con un código de integración de mensajes MIC, el cual encripta el *checksum* incluyendo las direcciones físicas del origen y destino y los datos en texto claro de la trama 802.11. Por otro lado, ahora permite usar un vector de inicialización de 48 bits llamado TSC (*TKIP Sequence Counter*) para protegerse contra ataques por repetición. Luego, como complemento al TKIP nace el protocolo CCMP representando un nuevo método de encriptación basado en AES (*Advanced Encryption Standards*), el cual permite un cifrado simétrico de 128 bits, con el algoritmo CBC-MA.

802.11i, conocido también como seguridad sólida RSN (*Robust Security Network*), incorpora una capa de seguridad específica para redes inalámbricas.

Con esto la aparición de WPA (*Wi-Fi Protected Access*) permite mejorar el aspecto del vector de inicialización WEP y resultó ser una solución intermedia implementando la mayoría del estándar 802.11i con TKIP y EAP. Más adelante la aparición de WPA2 implementa completamente el protocolo 802.11i y asimismo utiliza el algoritmo cifrado AES. WPA2 esta pensado para empresas tanto para el sector privado como

público, de manera que se asegura que cumple con los estándares de interoperatividad.

Gracias a estas soluciones podemos lograr un óptimo nivel de seguridad en una red inalámbrica. De esta manera ahora se puede tener un control del acceso a la red y se puede determinar el nivel de seguridad que se requiere, según sea la aplicación. 802.1x logra un nivel de seguridad alto basado en una autenticación y cifrado de contraseñas entre el cliente y el AP. Así mismo el protocolo EAP permite una autenticación segura basada en un intercambio de contraseñas entre un cliente y un servidor RADIUS, el cual realiza una autenticación para el acceso a la red inalámbrica. El nivel de seguridad depende del tipo de servicio que brinde la red inalámbrica ya que es conocido que en los hoteles y aeropuertos no se requiere una alta seguridad, de manera que el usuario remoto tenga un fácil acceso a la red, por otro lado tanto empresas que deben contar con un servidor RADIUS que configure la seguridad por áreas de manera que el acceso sea restringido de forma adecuada. Con la evolución de la tecnología y del acceso a los servicios resulta sencillo darse cuenta que la seguridad pasa a ser un tema muy importante a tomar en cuenta en cuanto a las redes inalámbricas. Si comparamos este mismo tema con las redes cableadas podemos darnos cuenta que ocurre casi lo mismo. A medida que la tecnología avance los ataques a las redes van a ser mayores y es muy probable que nuevos protocolos de seguridad aparezcan. Si bien, siempre es requerido un nivel óptimo de seguridad, en las redes inalámbricas muchas veces afecta directamente al desempeño, es por esto que resulta necesaria la evolución de nuevos protocolos de seguridad. Para mostrar algunas evidencias de ataques o accesos ilegales a redes podemos presentar dos ejemplos concretos.

**Warchalking**, que consiste en caminar por la calle con un computador portátil dotado de una tarjeta WLAN, buscando la señal de puntos de acceso. Cuando se encuentra uno, se pinta con tiza un símbolo especial,

indicando la presencia del AP y si tiene configurado algún tipo de seguridad o no. De este modo, otras personas pueden conocer la localización de la red.

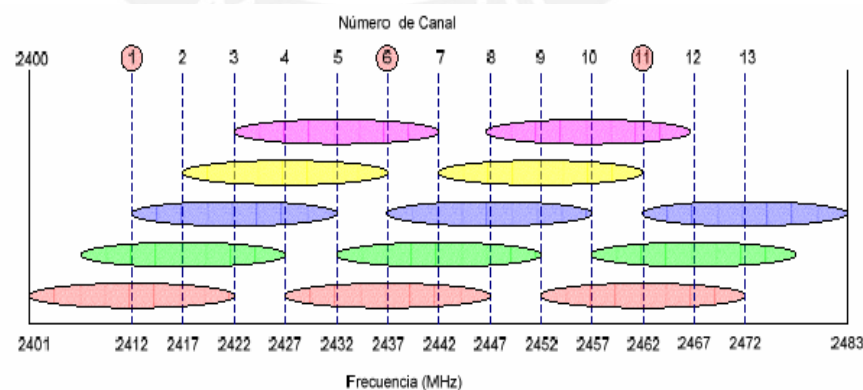
**Wardriving**, propio para localizar puntos de acceso inalámbrico desde un automóvil. Para este fin se necesita de un computador portátil con una tarjeta WLAN, una antena adecuada (que se puede elaborar fácilmente hasta con una lata de conservas o de papas fritas), un GPS para localizar los puntos de acceso en un mapa, y software para detección de redes inalámbricas, que se consigue libremente en la Internet. Una vez localizada una red inalámbrica, una persona podría llevar a cabo dos tipos de ataques:

- Ingresar a la red y hacer uso ilegítimo de sus recursos.
- Configurar un punto de acceso propio, orientando la antena de tal modo que los computadores que son clientes legítimos de la red atacada se conecten a la red del atacante. Una vez hecho esto, el atacante podría robar la información de dichos computadores, instalarles software maligno o dañar la información.

#### 1.4 Comentarios generales:

- 802.11a: Estándar cuyo desarrollo aplicativo se da en el mercado empresarial al ofrecer velocidades reales de 20Mbps hasta 36Mbps. Al establecerse en la banda de 5Ghz, 802.11a tiene la ventaja de no contar con las interferencias que se tienen en 2.4Ghz, lo cual permite lograr aplicaciones con canales de mayor ancho de banda. Con esto, 802.11a muestra claramente ser una mejor opción para aplicaciones que requieran un mayor ancho de banda. A pesar de esto, el estándar “a” al operar en esa banda no permite una cobertura similar a la de los estándares “b” y “g” debido que sus ondas son fácilmente absorbidas, de esta manera, el estándar “a” requiere que exista línea de vista y lo obliga al uso de una mayor cantidad de puntos de acceso (AP).

- 802.11b: Estándar cuyo desarrollo inicial se dio en redes pequeñas debido a la velocidad limitada que el estándar “b” ofrecía. Esta tecnología se ocupa en la banda de 2.4Ghz, si bien esta banda posee muchas interferencias tiene bastante popularidad debido a que es una banda libre. En el Perú, es importante destacar que la potencia está limitada para un máximo de 36dBm. Por otro lado, 802.11b ha sido durante estos últimos años una solución para enlaces de larga distancia gracias a que el *firmware* con el que cuentan algunas tarjetas permite la configuración de ciertos parámetros los cuales van a permitir que esta tecnología trabaje en estas condiciones. Si bien el desempeño no es el óptimo, 802.11b ha demostrado ser una solución muy recomendable en precio para aplicaciones que no requieren de mucho ancho de banda. A continuación se muestra la distribución de la banda de 2.4Ghz, la cual cuenta con 14 subcanales. Es importante tomar en cuenta que para que múltiples canales coexistan en la misma zona, deben estar separados 25Mhz para evitar interferencias. En USA, así como en nuestro país contamos con 11 canales, de manera que solo 3 canales pueden coexistir en la misma zona ó celda. [2] Los canales comúnmente usados son el canal 1, 6 y 11.



Fuente: <http://www.wi-fi.org>

Figura 01. Esquema de canales Banda 2.4Ghz [2]

- 802.11g: Estándar cuyo desarrollo es dirigido es a redes de pequeñas. Como se mencionó anteriormente, surge como evolución del estándar “b” de manera que ahora ofrece la misma velocidad que el estándar “a”. Si bien, 802.11g muestra mejoras respecto a “b” cabe resaltar que la interferencia a la que se someten los estándares que operan en la banda de 2.4Ghz es debido a los equipos como teléfonos inalámbricos, hornos microondas, etc. A pesar de esta desventaja, los protocolos de la banda 2.4Ghz han sido más populares que el “a” debido a que la banda de 5Ghz en algunos países está regulada y el precio de los equipos es alto. Por otro lado, al igual que 802.11b, esta tecnología permite su uso para aplicaciones de larga distancia aprovechando su adaptación para este entorno. Al ser una evolución de 802.11b, esta tecnología logra los mismos enlaces que se logran en 802.11b pero con una mayor tasa de transferencia. Para este tipo de aplicaciones se debe tomar en cuenta la línea de vista y el factor climático que hace muchas veces que el enlace sea inestable, pero cabe resaltar que cada vez se usan más las aplicaciones de esta tecnología en larga distancia para aplicaciones que requieran un mayor ancho de banda.
- 802.11n: Estándar cuya aplicación es para área local. Este estándar pretende mejorar sobre manera la cobertura que caracteriza a los estándares previos para tener participación directa ahora en el mercado empresarial. Actualmente la banda de operación es de 2.4Ghz, pero todavía queda la alternativa de que funcione tanto en la banda de 5Ghz como en la banda de 2.4Ghz. Al ofrecer una tasa de transferencia mínima de 100Mbps, esta tecnología nace con el propósito de ser un medio de acceso de banda ancha permitiendo así la convergencia de tecnologías en las redes futuras. En cuanto a la potencia, es importante resaltar que si se opera en la banda de 2.4Ghz va a tener un límite de 36dBm. Al igual que “b” y “g”, se espera que esta tecnología funcione en un entorno de larga distancia y pueda

permitir tener una mayor libertad en cuanto al desarrollo de aplicaciones para enlaces de banda ancha.

- **Productos en general**

En la actualidad, la mayoría de productos en el mercado son de la especificación “b” y “g” aunque actualmente se está desarrollando es estándar 802.11n el cual permitirá una velocidad de transmisión teórica de hasta 500Mbps asegurando un tasa de transferencia (*throughput*) de 100Mbps. De esta manera se propone una solución a la alta demanda de rendimiento, lo que permite cubrir aplicaciones que requieran una comunicación en tiempo real.

En el mercado, Los precios de los productos de WLAN's han disminuido, por ejemplo las tarjetas PCMCIA que se utilizan en las *laptops* cuestan ahora cerca de \$40, comparados con los \$500 que costaba varios años atrás. Asimismo, los AP *indoor* hace unos años costaban \$200, ahora los AP son más pequeños y uno con las mismas funciones cuesta aproximadamente \$40. [7] Los precios de los AP varían según sea la aplicación debido a que se tiene que tomar en cuenta muchas veces la ganancia de la antena, la calidad de servicio de calidad de servicio (QoS), así como la seguridad ofrecida por el AP. Cabe mencionar que los productos WLAN cuentan con la característica de interoperabilidad, de esta manera se pueden usar productos de distintos fabricantes en una red WLAN.

## 1.5 Estudio de las redes inalámbricas en el Perú

### 1.5.1 Proyectos basados en redes WLAN

- **Redes Mesh de bajo coste en Cusco –Proyecto EHAS**

La fundación EHAS (Enlace Hispano Americano para la Salud), fundada en 1997, surgió como un programa fruto del apoyo del grupo de Bioingeniería y Telemedicina de la Universidad Politécnica de Madrid y la ONG Ingeniería Sin Fronteras. Posteriormente se fueron



uniendo instituciones y Universidades de países como Perú, Colombia y Cuba y es finalmente el año 2004 cuando EHAS resulta ser constituido como una fundación. Esta fundación apuesta por el desarrollo de redes en las zonas rurales aisladas y esto debido a la carencia de infraestructuras de comunicación y acceso a la información con las que estas zonas se encuentran. Al ser estos servicios considerados como servicios básicos por las Naciones Unidas, esta fundación pretende dotar a estas zonas de conectividad a redes de voz y datos introduciendo sistemas de comunicación y telemedicina para el personal sanitario rural, de tal forma que permita un mejor uso de los recursos ya existentes y una mejor coordinación del sistema completo de atención de salud. EHAS centra su trabajo en países de América Latina aunque estas pueden ser fácilmente implementadas a otros escenarios de países en desarrollo.

Este proyecto estudia la tecnología 802.11, como una solución óptima al escenario planeado. Se desarrolló un trabajo para obtener un *router* Wi-Fi solar de bajo coste, autoconfigurable y de alta mantenibilidad, con soporte de QoS y capacidad para crear redes inalámbricas Wi-Fi de larga distancia y alta velocidad [15]. Como objetivo del proyecto se diseñó y se desarrolló un prototipo Wi-Fi para de esta forma optimizar la tecnología 802.11 para redes con enlaces de larga distancia en zonas rurales de países en desarrollo. Para esto, se diseñó una primera versión de *router* Wi-Fi y se implementó el primer prototipo en una red Wi-Fi en el Cusco.

Actualmente estas redes permiten el acceso a Internet y comunicación con la red telefónica básica a través de centralitas software de VoIP implementadas en los propios *routers*.

- **Red de Telecentros- Acomayo (Cusco)**

Este proyecto se basa en el diseño de una red de telecentros con acceso satelital compartido para comunicaciones de voz y datos desarrollado en Acomayo (Cusco-Perú). El propósito del proyecto fue llegar a zonas rurales de difícil acceso con el propósito llegar a centros poblados aislados de manera económica, cultural y política. De esta forma se buscó la integración de estos centros con otros centros mayores. Esta plataforma se basa en sistemas mixtos de comunicación de voz y datos a través de sistemas inalámbricos cuya infraestructura soporta servicios de formación remota, sistema de consultas, etc. Este proyecto fue realizado por EHAS [19] con el fin de otorgar estos servicios a zonas aisladas de Cusco. Para este propósito se integraron las tecnologías VSAT y Wi-Fi. VSAT permitió saltar la barrera de construir costosas infraestructuras de comunicaciones y ahorrar tiempo de instalación de equipos en zonas donde la solución cableada resulta imposible. El enlace tuvo como propósito el transporte de VoIP, videoconferencia y servicios de Internet. Por otro lado, la tecnología Wi-Fi permitió la interconexión de telecentros ubicados en comunidades cercanas. Esto permitió un ahorro considerable debido a que ya no resultó necesario contar con un enlace satelital para cada puesto de salud.

### 1.5.2 Redes WiMAX en el Perú

- **Tecnología**

El estándar de transmisión inalámbrica de datos 802.16d WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) se basa en OFDM y trabaja en la banda de frecuencias de 2 a 11GHz, consta de 256 subportadoras que permiten que este sistema sea utilizado en el área metropolitana o MAN proporcionando accesos concurrentes en áreas de hasta 50 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 75Mbps con una eficiencia espectral de 5bps/Hz. [10] De esta manera WiMAX ofrece soporte

para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1.5Mhz a 20Mhz, es por esto que es considerado como el nuevo sistema de Internet de banda ancha.

Este sistema consta de una red de estaciones base, (BS), con antenas emisoras/receptoras capaces de soportar el servicio de unas 200 estaciones suscriptoras, (SS), situadas dentro de un radio de 50Km. Esta tecnología trabaja sin línea de vista, es por esto que entre las BS y SS pueden existir obstáculos físicos, que impidan su visión directa, debido a que las SS actúan como repetidores mediante una antena exterior WIFI, que cubre un radio de 400 metros, dentro de los cuales pueden conectarse simultáneamente múltiples PC's.

El estándar 802.16d hace referencia al servicio de conexión fijo WiMAX, el cual otorga una solución de Internet de banda ancha a través de un módem, el cual se conecta a la estación suscriptora y esta a su vez a la estación base para lograr el acceso inalámbrico de banda ancha. Por otro lado, se está trabajando sobre el estándar 802.16e, el cual permite aprovechar las virtudes de WiMAX pero esta vez aplicado al servicio de comunicación celular. Este estándar se basa en OFDMA, similar al OFDM usado en 802.16d pero permitiendo una agrupación de las subportadoras en subcanales y lograr de esta manera que una SS pueda usar todos los subcanales durante el periodo de transmisión.

- **EMAX**

En la actualidad existe un proveedor de servicios WiMAX llamado EMAX. Ofrece tarjetas inalámbricas para conectar al puerto PCMCIA (*Personal Computer Memory Card International Association*) en *laptops* así como módems EMAX ya configurados con un IP para una conexión fija. Hasta enero del año 2007 EMAX cuenta con redes WIMAX con una cobertura total en los distritos de Cercado de Lima, Miraflores, San Borja, San Isidro, Surco y Surquillo, además de contar con una cobertura parcial en los distritos de Lince, la Molina, Breña, San Luis,

Jesús María, El Agustino, La Victoria, Magdalena del Mar, El Rímac, San Martín de Porres, San Juan de Miraflores, Pueblo Libre y el Callao. [6] La red WiMAX en el Perú otorgada por EMAX es una red WAN y funciona mediante estaciones suscriptoras similares a las celdas de telefonía celular que otorgan un radio de 10Km de cobertura. Cabe resaltar que actualmente existen quejas del servicio de banda ancha propuesto por EMAX, debido a que no cumple con la cobertura propuesta ni tampoco con la tasa de transferencia que debería otorgar WiMAX. Es por esto que este servicio se le conoce actualmente como PRE-WiMAX.

- **TELMEX**

Telmex Perú se encuentra trabajando en una propuesta seria para las pequeñas y medianas empresas debido a que permitiría un ahorro de hasta un 30% en los costos de telefonía tradicional al implantar redes WiMAX. [5] Este servicio consta de dos líneas telefónicas y un acceso a Internet por el costo de 100 dólares. Telmex Perú culminará la instalación del servicio inalámbrico en ocho ciudades del país, entre las que se encuentran Cuzco, Cajamarca, Arequipa, Iquitos (región de Loreto), Trujillo (La Libertad), Chiclayo (Lambayeque), Ucayali y Piura. Asimismo, para fines año, 16 distritos de los conos de Lima y Callao contarán con este servicio. Cabe resaltar que Telmex Perú opera en una banda de 3.5Mhz. [5]

- **TELEFONICA DEL PERÚ**

En la actualidad Telefónica del Perú cuenta con más de 18 celdas WiMAX de la marca Airspan. Airspan Networks Inc., es una empresa líder en redes inalámbricas DSL. De esta manera, Telefónica del Perú pretende brindar un servicio de telefonía inalámbrica a más de 1200 localidades en la ciudad de Lima. [5]

- **AMERICATEL**

En la actualidad Americatel se encuentra interesado en iniciar operaciones de WiMax en el Perú bajo la plataforma WiLL. Cabe resaltar que esta plataforma viene siendo la única alternativa WiMax que ofrece tanto datos como voz en un servicio inalámbrico. [5]



## Capítulo 2

### Caracterización del estándar 802.11n

#### 2.1 Características técnicas del estándar 802.11n

El objetivo principal del grupo 802.11n también llamado TGn (*task group*), es el de lograr una velocidad de transmisión mínima de 100Mbps. Existen dos caminos para lograr esa velocidad de transmisión: Mejorando la eficiencia de la MAC, incrementando la máxima velocidad de transmisión a más de 100Mbps o ambos.

Existen dos grupos dedicados al desarrollo de esta tecnología. WWiSE (*short for World-Wide Spectrum Efficiency*) formado por Airgo, Broadcom, Conexant y Texas Instruments y TGnSync formado por Atheros, Agüere, Marvell e Intel. Ante el desarrollo de esta tecnología, varias empresas de dispositivos electrónicos como Cisco, Nokia, Nortel, Philips, Samsung, Sanyo, Sony y Toshiba han presentado su apoyo debido a que pretenden luego disponer de equipos que operen con 802.11n. Los objetivos principales de ambos grupos son mejorar la eficiencia y la tasa de transferencia pico. Para lograr estos dos objetivos ambos desarrolladores han realizado mejoras en la capa MAC y la capa PHY. Asimismo, hacen uso de la tecnología MIMO (*multiple-input*

*multiple-output*), así como de canales de 20Mhz ó de 40Mhz en el caso de lograr mayores tasas de transmisión. Actualmente el nuevo estándar no se ha aprobado aún debido a que el desarrollo del mismo no solo tiene que trabajar en la parte de ingeniería técnica sino también en la de ingeniería política, debido a que se necesita un porcentaje mayor del 75% para que crear las bases del estándar. [8] Debido a este atraso, existen equipos pre-n, liderados por los AP basados en *chipsets* Airgo. Se ha previsto que estos equipos puedan trabajar con los nuevos cambios que se den en el estándar final 802.11n.

Ambos desarrolladores, pretenden lograr una tasa mínima de 100Mbps aunque no de la misma forma. Se espera que en el estándar final a ser dado a mediados del 2008, conserve casi todas las características dadas por la de ambos desarrolladores.

### 2.1.1 MIMO

A partir del año 2004, las interfaces 802.11 cuentan con una o dos antenas para tener una mayor diversidad en cuanto a la configuración pero siempre se basa en el principio de elegir la mejor antena para la transmisión. El principio de lograr el enlace RF entre la antena emisora y la receptora se basa en la tecnología MIMO (*multiple-input multiple-output*), la cual emplea una técnica llamada multiplexado espacial permitiendo una transmisión y recepción simultánea de dos o más flujos de datos en el mismo canal de frecuencia. De esta forma se logra una mejora considerable de la tasa de transmisión. Si bien la interferencia multicamino dada en canales inalámbricos por el reflejo de las señales en las paredes y estructuras generan en las tecnologías legadas 802.11a/b/g una distorsión de la señal en el receptor, en 802.11n los receptores en los sistemas MIMO procesan cada componente multicamino, eliminando los que estén fuera de fase y de esta forma se elimina la distorsión mejorando la calidad de la señal

transmitida. En cada enlace de RF existen caminos multiplexados de maneras que cada trama puede ser multiplexada y ser ensamblada en el receptor. Para la configuración de las antenas MIMO TGnSync y WWiSE requieren una de 2x2; es decir, dos antenas transmisoras, dos antenas receptoras y dos caminos multiplexados en el radio enlace, aunque se está pensando en usar una configuración MIMO 2x3 para el enlace de subida y una configuración 3x2 para el de bajada, de manera que se ahorre costo y batería. [12] MIMO es muy usado inclusive en la tecnología celular 4G y es debido a sus ventajas que se ha vuelto una tecnología muy usada en enlaces inalámbricos. En el caso de 802.11n MIMO tiene la potencia de duplicar la tasa de transferencia en un canal inalámbrico cuando se transmiten dos flujos de datos.

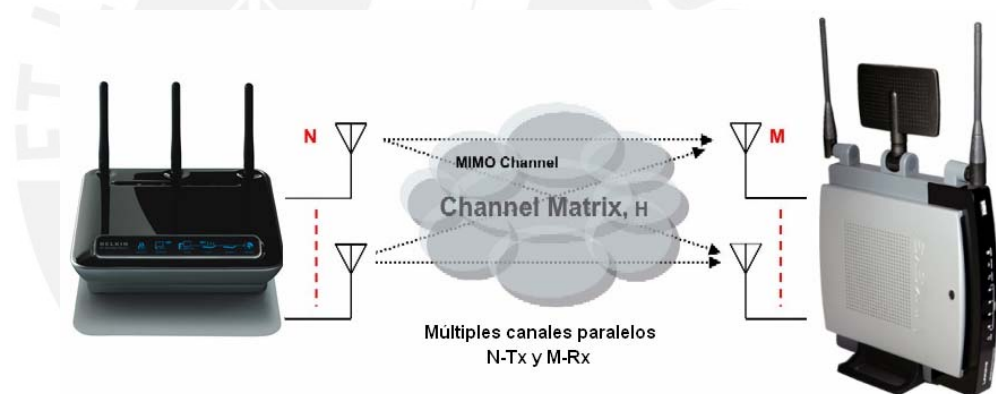


Figura 02. Tecnología MIMO [7]

### 2.1.2 Mejoras de la eficiencia en la MAC

La tecnología 802.11 es pobre en cuanto a la eficiencia de la MAC debido a que en casi todos los escenarios no se supera el 50 a 60% del valor nominal de tasa de transferencia. [8] Esto es debido a la gran cantidad de cabeceras añadidas a las tramas que muchas veces ocasionan que el tamaño de los datos sea menor al de la cabecera. Por otro lado la gran 802.11 asegura cada una de las tramas enviadas con un



bloque de reconocimiento que permite que sea una red robusta, pero esto origina un sacrificio en el rendimiento debido a que cada una de las tramas debe ser confirmada por el receptor. Para resolver estos problemas, ambos proveedores trabajan en técnicas similares basadas en una tecnología llamada *frame bursting*, de esta manera se elimina el reconocimiento de cada trama con el fin de tener una menor cantidad de cabeceras. Hay que tomar en cuenta que se debe asegurar la llegada de la trama, en caso de que una trama no llegue, se tendrá que retransmitir todo el bloque o ráfaga. El *draft 2.0* establece una mejora de 802.11n disminuyendo el tamaño del bloque ACK de 128 bytes a 8 bytes [18] obteniendo de esta forma una mejor eficiencia en el enlace aéreo, teniendo en cuenta la frecuencia con que se presenta este ACK en el enlace. Otra tecnología para mejorar la eficiencia de la MAC es el *frame aggregation*, el cual consiste en no utilizar pequeñas tramas como lo hace 802.11 sino combinarlos en una gran trama, con una cabecera MAC comprimida, de manera que las tramas que lleguen a un mismo destino formen solo una gran trama con un solo bloque de reconocimiento. Si consideramos el tráfico de voz el cual se compone de tramas pequeñas de 132 a 250 bytes (dependiendo de la codificación), podemos concluir que tanto tráfico de voz como el tráfico de video resultan ineficientes. Si se utilizara el A-MSDU (Aggregated MAC Service Data Unit) permitiría incrementar el tamaño de trama de 2,304 bytes a 8 Kbytes y si se utilizara el A-MPDU (Aggregated MAC Protocol Data Unit) permitiría incrementar el tamaño de trama de 2,304 bytes a 64 Kbytes. [8] Por lo que se concluye que 802.11n va a mejorar indudablemente la eficiencia.

### 2.1.2.1 Propuesta de WWiSE

En la especificación WWiSE propone mejorar la eficiencia de la MAC de manera que se pueda lograr la tasa de transferencia mínima de

100Mbps. Para lograr esta velocidad se deben transmitir 96000 bits cada 960 $\mu$ s. WWiSE para una configuración de dos antenas con dos enlaces, propone una velocidad de 135Mbps, es decir, logra la transmisión de 96000 bits en 711 $\mu$ s. En esta propuesta, se pueden usar los canales de 20Mhz ó 40Mhz. El canal de 40Mhz se usa como un único canal de transmisión. Por otro lado, los canales de 20Mhz se usan en pares, ambos dedicados a la transmisión de datos. A uno de estos se le llama primario el cual opera normalmente mientras que el canal secundario no tiene estaciones asociadas y se usa en caso de sobrecarga en la transmisión de datos.

- **Protección**

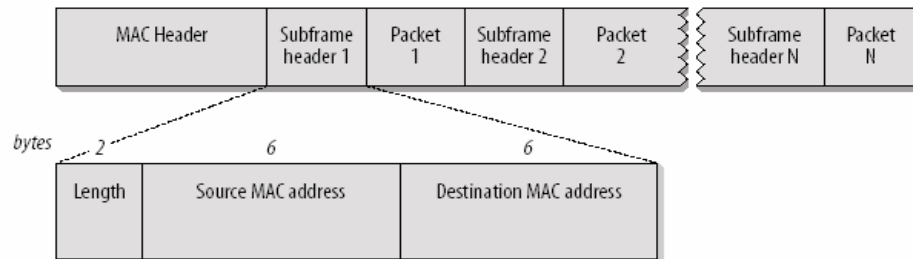
Al tener la tecnología MIMO, 802.11n requiere de una mayor seguridad, de esta manera WWiSE propone una seguridad OFDM. Esta seguridad es requerida para que pueda trabajar en una topología basada en 802.11g. Para esto, en el AP, se va a contar con dos bits que indicarán si es necesaria la seguridad OFDM, estos bits también cumplen la función de asistir a las estaciones que usan pares de canales, para indicar si el canal secundario se encuentra en uso. Con esto se define el NAV (*Network Allocation Vector*) que permite establecer un tiempo durante el cual los equipos 802.11b/g no van a operar para permitir que la trama 802.11n sea transmitida sin problemas.

- **Agregación, *bursting* y reconocimiento**

WWiSE tiene la propuesta de incrementar la carga útil máxima de 2.304bytes a 8Kbytes. En el caso de recibir las tramas satisfactoriamente la eficiencia se incrementaría de gran manera.

La agregación es usada siempre y cuando la dirección de estación destino es la misma, de esta manera la agregación permite crear una

gran trama de manera que la estación destino (AP) pueda interpretar la cabecera de la misma y enviar cada subtrama al destino correspondiente. La agregación no es posible en una mixtura de transmisión *unicast*, *broadcast* ó *multicast*.



Fuente: 802.11 Wireless networks 2da Edición Capítulo 15, página 316

Figura 03. Agregación WWiSE [8]

El concepto “*bursting*” es similar al de agregación, con la diferencia que éste ocurre en la capa física, de esta manera se tienen múltiples tramas físicas, cada trama tiene su propia fuente y propio destino. Para que se pueda lograr el *bursting* se hace uso de dos espacios en la trama llamados ZIFS (*Zero Interframe Space*) y RIFS (*Reduced Interframe Space*). ZIFS es usado en el caso de que se use la misma potencia de transmisión, de manera que esta sea inmediata. En el caso de que la potencia cambie entre el envío de tramas, entonces se usa el espacio RIFS. RIFS es un espacio mucho menor a los usados, de esta manera permite que la estación tenga control del canal.

En cuanto al reconocimiento de tramas, usado en las versiones 802.11, WWiSE propone no usarlo de manera que se permite una transmisión sin requerimientos de reconocimiento aumentando la eficiencia.

- **MIMO WWiSE**

Al igual que 802.11a, el canal es dividido en subportadoras de 0.3125Mhz. [8] Un canal de 20Mhz esta dividido en 56 subportadoras y uno de 40Mhz en 112 subportadoras. En esta propuesta los canales de

40Mhz sólo son soportados en la banda de 5Ghz debido a que en la banda ISM es muy difícil tener canales de este tamaño. Los canales de 20Mhz usan dos portadoras centrales, de esta manera se pueden utilizar el resto de subportadoras para datos. Para canales de 20Mhz las subportadoras de datos son 54 y para canales de 40Mhz son 108.

- **Modulación**

Se usa una modulación 16-QAM (4 bits) ó 64-QAM(6 bits). Para la convolución de código se usa una tasa de 5/6. [8] De esta manera aumenta la tasa de transmisión.

- **Interleaver**

En la propuesta de WWiSE toma bits del FEC (*forward error coder*) y lo asigna a una trama. El primer bit es asignado para la primera trama el segundo a la segunda trama y así sucesivamente.

- **STBC (*space-time block coding*)**

Este proceso se usa para transmitir una trama a través de múltiples antenas. Para esto WWiSE transmite dos tramas hacia antenas diferentes. La siguiente tabla revisa las reglas de división de las tramas transmitidas. STBC mejora la recepción y genera redundancia, lo cual es importante en el caso de VoIP transmitiendo múltiples copias de datos por varias antenas.

**Tabla 01. Reglas WWiSE para STBC [8]**

Transmit antennas	Spatial streams	First spatial stream	Second spatial stream	Third spatial stream
2	1	Coded across antennas 1 and 2	N/A	N/A
3	2	Coded across antennas 1 and 2	Transmitted normally on third antenna	N/A
4	2	Coded across antennas 1 and 2	Coded across antennas 3 and 4	N/A
4	3	Coded across antennas 1 and 2	Third antenna	Fourth antenna

Fuente: 802.11 Wireless networks 2da Edición Capítulo 15, página 319

- **Velocidades de modulación**

Para la modulación se hace uso de la fórmula siguiente:

Tasa de transmisión (Mbps)=0.675 x ancho de banda x numero de tramas x bits codificados por subportadora x tasa del código [8]

El número de bits por subportadora es 6 para una modulación 64-QAM, 4 para 16-QAM, 1 para BPSK y 2 para QPSK aunque los dos últimos sólo soportan canales de 20Mhz. WWiSE propone varias formas de lograr los 100 Mbps. Asimismo, propone usar un ancho de banda de 40Mhz, 4 tramas con una modulación 64-QAM y un código de 5/6 para lograr una tasa máxima de 540Mbps.

En cuanto a la sensibilidad de recepción y parámetros físicos, WWiSE propone las siguientes tablas.

**Tabla 02. Sensibilidad de recepción WWiSE [8]**

Constellation	Rate	Sensitivity (dBm)	802.11a Sensitivity (dBm), for reference
BPSK	1/2	-82	-82
BPSK	3/4	-81	-81
QPSK	1/2	-79	-79
QPSK	3/4	-77	-77
16-QAM	1/2	-74	-74
16-QAM	3/4	-70	-70
64-QAM	2/3	-66	-66
64-QAM	3/4	-65	-65
64-QAM	5/6	-64	N/A

Fuente: 802.11 Wireless networks 2da Edición Capítulo 15, página 324

Tabla 03. Parámetros físicos WWiSE [8]

Parameter	Value	Notes
Maximum MAC frame length	8,191 bytes	
Slot time	9 $\mu$ s	
SIFS time	16 $\mu$ s	The SIFS is used to derive the value of the other interframe spaces (DIFS, PIFS, and EIFS).
RIFS time	2 $\mu$ s	
Contention window size	15 to 1,023 slots	
Preamble duration	16 $\mu$ s	
PLCP header duration	4 $\mu$ s	
Receiver sensitivity	-64 to -82 dBm	Depends on speed of data transmission

Fuente: 802.11 Wireless networks 2da Edición Capítulo 15, página 325

### 2.1.2.2 Propuesta de TGnSync

- **Mejoras de la MAC, canales y modos**

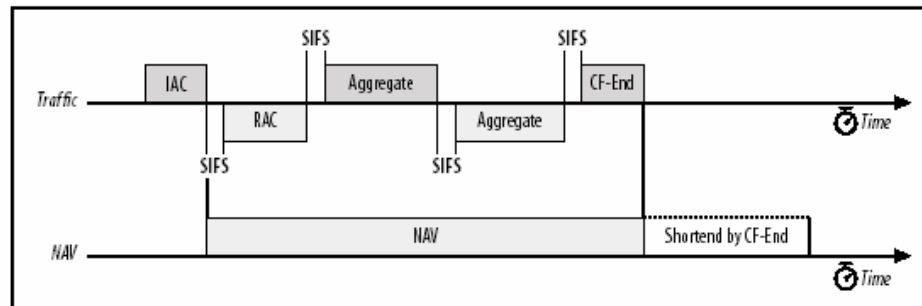
La propuesta de TGnSync, propone al igual que WWiSE, un proceso de agregación y *bursting* así como algunas políticas de reconocimiento. Así mismo se realiza una protección en la capa MAC. Con esto, TGnSync pretende lograr un ahorro de energía. Asimismo, se hacen uso de canales de 20Mhz y 40Mhz de manera que los equipos puedan operar en distintas topologías. Por otro lado, en caso de tener una gran de transmisión de datos, se puede hacer uso temporal del canal de 40Mhz. Existen modos de operación en las estaciones, el modo puro consiste en una red con estaciones 802.11n, el modo heredado en el cual las estaciones 802.11n operan como 802.11a y 802.11g. Finalmente el modo mixto en el cual se permite que una red 802.11n coexista con una red basada en 802.11a y 802.11g compartiendo el mismo canal. El modo mixto es requerido para coexistir con redes antiguas, detectando cuales son las tramas de estaciones antiguas y cuales no.

- **Agregación y *bursting***

La agregación reordena las tramas para formar la gran trama. Este proceso agrupa las tramas en una sola trama PLCP, a su vez se hace uso de un CRC que delimita las subtramas y permite recuperar las mismas. Hay que tomar en cuenta que el canal debe estar preparado, de manera que pueda recibir las tramas agregadas. Una vez recibida la trama agregada se requiere una confirmación *BlockACK*. Se propone la compresión de la cabecera MAC, de manera que esta se pueda usar en la trama agregada cuando la fuente y el destino son los mismos. [8]

- **Protección**

TGnSync propone dos formas principales de protección. La primera se basa en un mecanismo de detección de portadora MAC virtual, de esta manera se usa un vector RTS/CTS para que ambas estaciones puedan intercambiar tramas a altas velocidades usando modulaciones que no van a ser entendidas por 802.11a/b/g. Este primer modo de protección permite que al momento de la solicitud del canal, el RTS pueda contener el NAV de manera que se establezca un tiempo para la transmisión de las tramas 802.11n. Este nuevo RTS llamado IAC (*Initiator Access Control*) se envía a la velocidad de las tecnologías legadas y puede ser entendido por cualquier receptor OFDM. Este IAC obtiene una respuesta CTS el cual va a contener el NAV de manera que se establece un tiempo para la transmisión durante el cual los equipos 802.11a/b/g quedan sin poder transmitir. Este nuevo CTS se va a llamar RAC (*Request Access Control*). Se debe tomar en cuenta la principal función del RTS/CTS es idéntica a la función del IAC/RAC. [18]



Fuente: 802.11 Wireless networks 2da Edición Capítulo 15, página 330

Figura 04. Protección TGnSync – NAV [8]

La segunda clase de protección se le conoce como *spoofing*. De esta manera en la cabecera PLCP se tienen dos números que son usados por el receptor para determinar cuanto van a durar las transmisiones. El campo *signal* codifica la velocidad de transmisión y la longitud de la trama en bits. De esta manera las estaciones decodifican el campo *signal* y divide el número de bits entre la velocidad de transmisión para luego determinar el tiempo de transmisión. Para maximizar el tiempo de transmisión se toma el valor predeterminado de 6Mbps para el campo *signal*. Para que se realice el proceso entre dos estaciones, se tienen que proteger las tramas de las estaciones 802.11a/g. Para esto, las estaciones 802.11n envían un valor incorrecto de longitud y velocidad de transmisión de la trama de manera que las estaciones antiguas se encuentren en modo de recepción durante el envío y respuesta de la trama. Esto ocurre por cada trama transmitida. Si una sola trama requiere de múltiples respuestas, se usa el *single-ended-spoofing*, con este método se calcula el tiempo de respuesta total, durante el cual se van a recibir las respuestas de las distintas estaciones. Durante este tiempo las estaciones 802.11a/g estarían en modo de recepción.



- **Ahorro de energía**

TGnSync propone el uso del protocolo TRMS (*Timed receive Mode Switching*). Gracias a la tecnología MIMO en 802.11n se tienen múltiples caminos de RF los cuales pueden ser apagados en caso de no ser usados, de manera que se pueda ahorrar energía. En la interfase se deja una sola cadena para monitorear el radio enlace. En los sistemas MIMO existen el modo que permite una completa recepción y el modo en el cual se deshabilitan todos los caminos de RF. En una transmisión, luego de transmitir una trama el camino de RF queda encendido por un tiempo llamado *hold time* ó tiempo de espera. Al momento de realizarse la transmisión el tiempo de espera toma su valor máximo, si no existe una transmisión se espera un *slot* de tiempo para luego apagar el camino. El encargado de otorgar este tiempo de espera es el AP, el cual verifica si se deben apagar los caminos de RF. Hay que tomar en cuenta que este valor es variable, cuanto mayor sea el tiempo se usa mayor cantidad de energía.

- **Velocidades MIMO**

TGnSync define 32 modulaciones y pares de código. En el modo básico cada flujo debe tener una técnica de modulación idéntica. De esta manera se tiene la siguiente fórmula para el cálculo de la tasa de transmisión.

Velocidad de transmisión (Mbps) =  $12 \times$  factor de ancho de banda  $\times$  número de flujos  $\times$  bits codificados por subportadora  $\times$  tasa de código  $\times$  factor del intervalo de guardia. [8]

Para canales de 20Mhz se le asigna un factor de 1 y para canales de 40Mhz se le asigna el factor 2.25. El número de flujos puede ser 1, 2, 3

ó 4 y debe ser menor o igual al número de antenas de transmisión. La codificación por subportadora depende de la modulación utilizada. Toma un valor de 6 para una modulación 64-QAM, 4 para 16-QAM, 2 para QPSK ó 1 para BPSK. La tasa de código puede ser 1/2 cuando se usa BPSK; 1/2 ó 3/4 cuando se usa QPSK ó 16-QAM; ó 2/3, 3/4 ó 7/8 cuando se usa 64-QAM. Por último, el factor de intervalo de guardia es de 1 para un intervalo de guardia de 800ns y 1.11 para un intervalo de guardia de 400ns. [18] En caso de utilizar canales de 40Mhz con 4 flujos, una modulación 64-QAM con 7/8 de tasa de código y un intervalo de guardia de 400ns TGnSync logra una tasa de transferencia teórica máxima de 630Mbps

- **Modos de transmisión**

En el modo MIMO básico el número de flujos es igual al número de antenas. Cada flujo es modulado y transmitido de la misma forma, con la misma cantidad de energía. Los otros modos toman información del estado del radio enlace. En estos modos se envían tramas de sondeo para medir el estado del enlace. En el modo básico con *beamforming*, al inicio de la transmisión se sondea el radio enlace. Según la información del radio enlace se selecciona la potencia de transmisión y el flujo espacial. En este modo se requiere que el número de flujos sea menor ó igual al número de antenas de transmisión. Por último el modo avanzado de MIMO *beamforming* (ABF-MIMO), trabaja en forma similar al modo básico *beamforming* pero con la capacidad de utilizar una potencia distinta para cada flujo espacial, así como utilizar una modulación y una tasa de código distinta. Asimismo, se permite una nueva modulación de 256-QAM el cual transmite 8 bits codificados por subportadora, es decir, 3/4 de tasa de código. Al tener varias antenas el *beamforming* va a ajustar la magnitud y fase de cada antena de transmisión para mejorar la recepción.

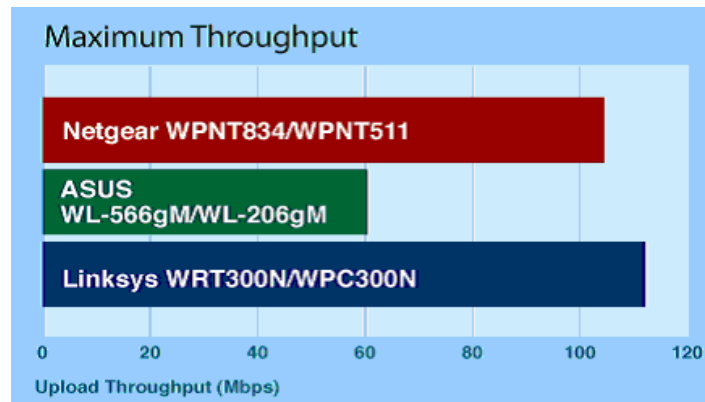
## 2.2 Productos 802.11pre-n en el mercado mundial

Los primeros productos basados en el nuevo estándar 802.11n que se encuentran en el mercado, son productos principalmente Linksys y Netgear. Estos equipos muestran un rendimiento óptimo aunque todavía se ven problemas en su desempeño. El estándar IEEE 802.11n promete aumentos masivos en el procesamiento y cobertura de redes inalámbricas a través de técnicas del espacio múltiple MIMO. El estándar especifica velocidades de conexiones de entre 150Mbps y 300Mbps, lo que se traduciría en una capacidad real de procesamiento de 150Mbps. El borrador actual fue aprobado el pasado mes de marzo y de cumplirse todos los plazos, la versión final del estándar estaría disponible en el segundo trimestre de 2008. En el mercado se encuentran equipos como el *router* WRT300N *Wireless-N*, cuyo costo es de 149 dólares en USA y el equipo WPC300N *Wireless N Notebook Adapter* de Linksys, cuyo costo es de 119 dólares. [9] Tanto el *router* como el adaptador de portátiles integran tres antenas y soportan las frecuencias de 40MHz para mejorar calidad de la transmisión y recepción de datos. Es debido a la alta demanda de estos productos que se empezarán a producir productos 802.11n con los *chipset* Atheros y Marvelli. Mike Hurlston, vicepresidente y director general de la división Wireless LAN de Broadcom, afirma que los chips Intensifi (bibliografía) soportan la banda de frecuencia de 5Ghz, aunque ninguno de los productos de la primera versión podrá operar en esta banda.

- **Rendimiento de los productos basados en el pre-estándar**

En las pruebas realizadas por los laboratorios eWeek [11] , los productos de Linksys basados en la versión 1.0 del borrador del estándar 802.11n ofrecen mucha velocidad, más que cualquier otro dispositivo probado hasta la fecha. Pero aún así, problemas de

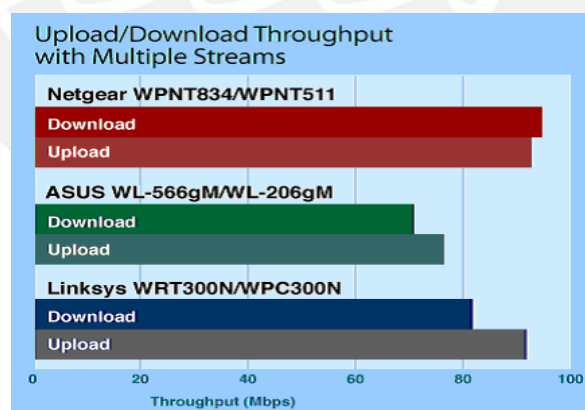
cobertura e interferencias con las redes inalámbricas heredadas revela que queda mucho por mejorar. Las primeras pruebas desde oficinas en San Francisco no lograron sobrepasar los 40Mbps debido a que los productos basados en el último borrador bajan en rendimiento cuando se encuentran cerca de productos inalámbricos legados. Es por esto que se tuvieron que realizar las pruebas en un lugar libre de transmisiones. Al probar el rendimiento del WRT300N en un analizador de espectro, se notó mucha interferencia en la banda de 2,4Ghz para canales de 40Mhz. Se espera que en el estándar aprobado se modifique el procedimiento de asignación de canales en la banda de 2,4Ghz. Por otro lado, se notaron problemas con las redes 802.11g heredadas. Cuando el WRT300N buscaba una conexión cerca de un punto de acceso 802.11g, en ocasiones, se perdía la conexión precisando una reconexión manualmente. Una vez reprogramado el WRT300N al otro extremo del espectro se dejó de percibir problemas en la conexión. Para medir el rendimiento de los equipos se usó el software iPerf 1.7.0, para medir el ancho de banda y analizar el comportamiento de los equipos. En las pruebas, los productos 802.11n de Linksys manifestaron ser los dispositivos inalámbricos más veloces en distancias cortas que hemos visto, incluso mejores que los productos Gen3 True MIMO de Airgo. En teoría, con una velocidad máxima de transferencia de 270Mbps, el *router* WRT300N y el adaptador WPC300N, en combinación, lograron una velocidad máxima real de 112,17Mbps de tráfico *full-duplex*. RangeMax 240 (WPNT384) de Netgear basado en el *chipset* de Gen3 True MIMO de Airgo, sólo logró una velocidad de 104,53Mbps en la misma prueba. También vimos que no todos los productos basados en la tecnología de Airgo son iguales, ya que el *router* ASUS 240 MIMO ni siquiera se acercaba al rendimiento conseguido por el RangeMax 240. [7]



Fuente: <http://www.eweek.com>

Figura 05. Tasa de transferencia de equipos 802.11pre-n [7]

En las pruebas de cargas/descargas [11], los productos de Linksys 802.11n destacan especialmente en la carga de datos desde un cliente inalámbrico a la red cableada. Sin embargo, la velocidad del tráfico unidireccional se vio afectada por el *switch* Fast Ethernet 10/100Mbps de la red, que proporciona menos rendimiento en *half-duplex* que los componentes inalámbricos WRT300N. Un único cliente WPC300N es capaz de una velocidad de carga de 94,5Mbps, aunque la velocidad máxima de descarga fue de tan sólo 81,57Mbps.

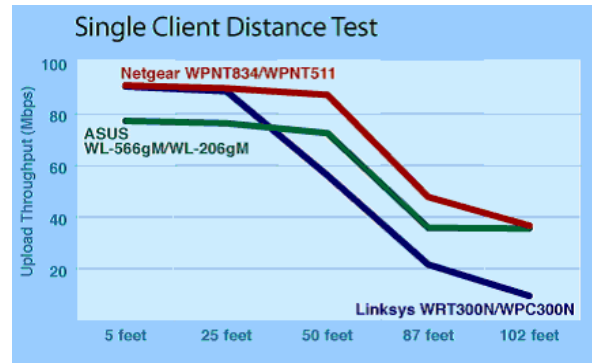


Fuente: <http://www.eweek.com>

Figura 06. Rendimiento en la carga/descarga en 802.11pre-n [7]

En cuanto a las pruebas de amplitud y cobertura, sin embargo, los productos de Linksys no mostraron los resultados esperados, partiendo de una distancia de 15 metros (incluyendo una altura de 6 metros y

varias paredes), los productos 802.11n de la firma mostraron una mayor latencia que los productos de Airgo.



Fuente: <http://www.eweek.com>

Figura 07. Rendimiento respecto de la distancia en 802.11pre-n [7]

El *router* WRT300N de Linksys es menos ancho que el antiguo WRV54G e incorpora tres antenas como el *router* WRT54GX MIMO, aunque la antena central del WRT300N es una placa plana. El WPC300N también dispone de tres antenas integradas. La configuración del *router* Linksys con canales de 40Mhz para las conexiones inalámbricas sólo permite elegir entre los canales 3 al 9. El WRT300N aporta una seguridad actualizada, soportando las versiones empresarial y personal de WPA y WPA2. Debido a que la WiFi Alliance no había certificado aún el WPA con el 802.11n en el *draft 1.0*, los equipos comerciales Linksys utilizan PSK y PSK2.

- **Posturas sobre la producción de los equipos 802.11pre-n**

Aunque el rendimiento es óptimo respecto a los estándares previos, no son los resultados esperados por 802.11n por lo que existen distintas posturas acerca de la difusión de los productos basados en el último borrador 802.11n. Dave Borison, director de Marketing de Airgo Networks, mencionó que la compañía no pretendía fabricar *chipsets* basado en el *draft 1.0* porque el problema de la interoperabilidad con redes heredadas es demasiado complicado. [8] Los directivos de Airgo señalan que están satisfechos con la amplitud y el rendimiento del *chipset*

Gen3 True MIMO. La compañía se concentrará en el desarrollo de la próxima generación de hardware basado en el estándar 802.11n una vez que este se ratifique. Por otra parte, Hurlston de Broadcom, piensa que los cambios no serán lo suficientemente contundentes para justificar la modificación del hardware. Al igual que el 802.11g, Hurlston cree que las actualizaciones de software resolverán el problema, y que los *chipset* actuales de Broadcom se podrán actualizar a la versión definitiva del estándar. [16]



## *Capítulo 3*

### *Identificación de las áreas de impacto*

#### 3.4 Hipótesis

Dado que existen organizaciones y/o particulares que emplean las redes WLAN para satisfacer sus necesidades de comunicación en escenarios distintos, y dado que actualmente existe una evolución tecnológica que condiciona los medios de acceso; se hace necesario el estudio de cómo afectará esta nueva tecnología en las redes inalámbricas en el mercado local.

- **Objetivo principal**

Desarrollar un estudio de impacto de 802.11n sobre las redes inalámbricas en el Perú. Para esto se va revisar el impacto a nivel hardware, a nivel de seguridad, a nivel tecnológico, a nivel económico, asimismo el impacto en la topología de la red y finalmente se mostrará el impacto que se da según sea el área en la que se despliegue la red WLAN. Para conseguir este objetivo se han abordado diferentes objetivos secundarios:



- Conocer las redes inalámbricas existentes en el Perú
- Conocer la evolución de las redes inalámbricas en el mundo
- Estudio de la tecnología 802.11n a nivel de capa física y capa MAC.
- Estudio de la adaptación de 802.11n en un escenario de larga distancia
- Identificar las áreas de impacto

### 3.2 Parámetros a considerar

La tecnología 802.11n, ofrece muchos cambios debido a las mejoras en las capas física y MAC. Hay que tener en cuenta que al ser una tecnología WiFi 802.11n está pensado para mejoras en redes de área local, de esta las redes locales van a evolucionar para permitir que el usuario pueda desarrollar múltiples aplicaciones a la vez sin ningún problema y con un *throughput* constante en un radio mucho más grande que el otorgado por otras soluciones WiFi. Por otro lado, no se descarta que 802.11n pueda ser una solución alternativa a WiMAX para enlaces a larga distancia, debido a que con las tecnologías WiFi b/g se ha podido lograr enlaces punto a punto de 85Km realizado en Colombia, haciendo algunas modificaciones en el *firmware* usando el sistema operativo Linux, colocando una antena apropiada e inyectando una potencia alta. Durante el desarrollo de esta capítulo se va a mencionar el impacto que va a tener 802.11n en áreas urbanas y no urbanas. Los resultados y conclusiones para la evolución de las redes de área local, se va a tomar en cuenta las pruebas realizadas por los laboratorios de Intel [11], por otro lado, para analizar y llegar a una conclusión sobre las redes no urbanas, se va a analizar las características de hardware de los equipos 802.11pre-n y como estas han ido cambiando con el tiempo para que se pueda determinar si va a poder ser una solución alternativa de larga distancia y de las condiciones para su funcionamiento.

### 3.2.1 Aspectos de la capa física

- **Frecuencia, interferencia y polarización**

802.11n no tiene un rango de frecuencias definido, el *draft* 2.0 propone tanto el uso de 2.4Ghz como de 5Ghz. La banda de 2.4Ghz es libre en la gran mayoría de países mientras que a 5Ghz se puede usar con mayor facilidad los canales de 40Mhz. Aunque la propuesta del *draft* 2.0 es que los futuros equipos 802.11n operen en ambas bandas de frecuencia, hasta el momento los fabricantes están utilizando la banda de 2.4Ghz. La banda de 2.4Ghz no necesita una licencia en países como el nuestro pero el nivel de potencia a transmitir es limitado. El nivel de potencia máximo, que dependerá del país, del tipo de enlace, y a veces incluso del tipo de zona impondrá límites de distancia. En el caso del Perú, las restricciones la impone la FCC para la banda de 2.4Ghz, permitiendo una potencia máxima transmitida de 30dBm con una antena de 6dBi PIRE. Asimismo, se podrá transmitir un 1dBm menos por cada 3dBi más de ganancia en la antena. Hay que tomar en cuenta que la normativa vigente puede sufrir cambios dependiendo de la legislación de cada país. Por otro lado, dentro de muchos países la normativa para zonas rurales y urbanas es diferente. Asimismo, es importante recordar que en la banda ISM se tienen 11 canales en saltos de 5Mhz, en la banda de 2.4Ghz-2.4835Ghz, cada canal cuenta con 22Mhz de ancho pero se recomienda tener canales con un ancho de 25Mhz de manera que los canales no sean mutuamente interferentes por trabajar dentro de un mismo dominio de colisión. De esta manera se tienen tres canales para trabajar 1, 6 y 11. Cabe resaltar que en el *draft* 2.0 se ha dejado una propuesta pendiente, la cual menciona el uso de canales de 40Mhz en la banda de 2.4Ghz, esto resulta difícil que se concrete debido a que existiría una gran posibilidad de interferencia con las tecnologías legadas pero es un tema que WiFi Alliance va a apoyar en el debate con la IEEE para garantizar el correcto funcionamiento de 802.11 en esta

banda. Si consideramos lo hasta ahora establecido, los enlaces de larga distancia debe realizarse en la banda de 5Ghz. En cuanto a la polarización vertical es la que mejor comportamiento tiene. Por otro lado, si se toma en cuenta que el terreno y las condiciones atmosféricas ocasionan una depolarización [15], podemos esperar una señal atenuada y así mismo una degradación en la recepción. Por otro lado, las interferencias no suelen darse en zonas no urbanas aisladas. Esto suele ocurrir cuando se quiere realizar un enlace entre una zona rural aislada con una zona urbana.

- **Cobertura y Línea de vista**

La cobertura en los equipos 802.11pre-n varía según el fabricante. Pero la característica común es que el *throughput* se mantiene en todo el radio de cobertura, esto gracias a la tecnología MIMO. Recientes estudios realizados en los laboratorios de Intel, muestran la diferencia que existen en cuanto al rendimiento de estos equipos. En campo abierto la cobertura llega a ser hasta de 6 veces la de la tecnología 802.11g, mientras que la cobertura para un ambiente cerrado llega a ser de 4 veces la cobertura de 802.11g. A diferencia de otras tecnologías 802.11 pre-n no reduce su *throughput* con la distancia. Esto va a permitir que el número de puntos de acceso, así como *routers* sea menor respecto a los que tenemos actualmente. El radio de cobertura es mucho mayor, por lo que la penetración mejora y no quedan zonas muertas. En el área empresarial esto es importante debido a que suelen ser áreas grandes donde se puede perder la señal, pero con esos equipos eso queda completamente cubierto.



Fuente: <http://www.linksys.com>

Figura 08. Cobertura en 802.11pre-n [9]

Si hablamos sobre la línea de vista, esto hace referencia a enlaces de larga distancia. Como se ha mencionado con anterioridad la tecnología 802.11 ya ha sido utilizada en estos escenarios pero resulta de mucha importancia este parámetro. Si consideramos cualquier escenario de larga distancia resulta necesario investigar sobre el relieve y la visibilidad, ya que son factores que imposibilitan saber si en realidad se tiene la primera zona de Fresnel despejada al menos un 60%. Es importante tener una certeza si se tiene línea de vista debido a que va a influir mucho en el diseño de la red sobre todo en la cantidad de repetidores a utilizar para obtener la cobertura deseada.

- **Tasa de transferencia, ISI**

La tasa transferencia varía mucho respecto del fabricante. Los resultados obtenidos durante los últimos meses del 2006 muestran que los equipos Linksys mejoran hasta 12 veces el valor que se tenía con 802.11g. [7] Lo importante de estos resultados es que, la gran parte de los equipos pre-n no pierden su *throughput* a medida que el usuario se va alejando de la antena, los mejores resultados los dieron en un estudio que se desarrolló en los laboratorios de Intel en Junio del 2006, dando los mejores resultados en velocidad los equipos Belkin y Linksys.



Fuente: <http://www.linksys.com>

Figura 09. Velocidad inalámbrica [9]

Luego de revisar las pruebas hechas en los últimos meses, se obtuvieron resultados nuevos y se puede concluir que el equipo más equilibrado es WNR854T basado en un *chipset* Marvell. Aunque este equipo muestra el *throughput* más alto hasta el momento a grandes distancias su tasa de transferencia cae de manera considerable, aún así es el que tiene el mejor desempeño de los equipos 802.11pre-n.

Interoperability matrix					
54M-bps link rate (fallback to 802.11g) Enhanced link rate (802.11n)	Belkin N1 Wireless Notebook Card	Buffalo Nfiniti Wireless-N Notebook Adapter	Intel Pro/Wireless 3945ABG	Linksys Wireless-N Notebook Adapter	Netgear RangeMax Next Wireless Adapter—Gigabit Edition
Belkin N1 Wireless Router	97.752	21.442*	17.606	13.524*	20.863
Buffalo Nfiniti Wireless-N Router and Access Point	74.269	102.545	22.941**	87.622	21.132
Cisco Aironet 1200	21.177	24.211	21.093	20.718	21.177
Linksys Wireless-N Broadband Router	87.684	103.646	24.294**	109.156	21.917
Netgear RangeMax Next Wireless Router—Gigabit Edition	24.594	23.311	6.263**	20.358	127.297

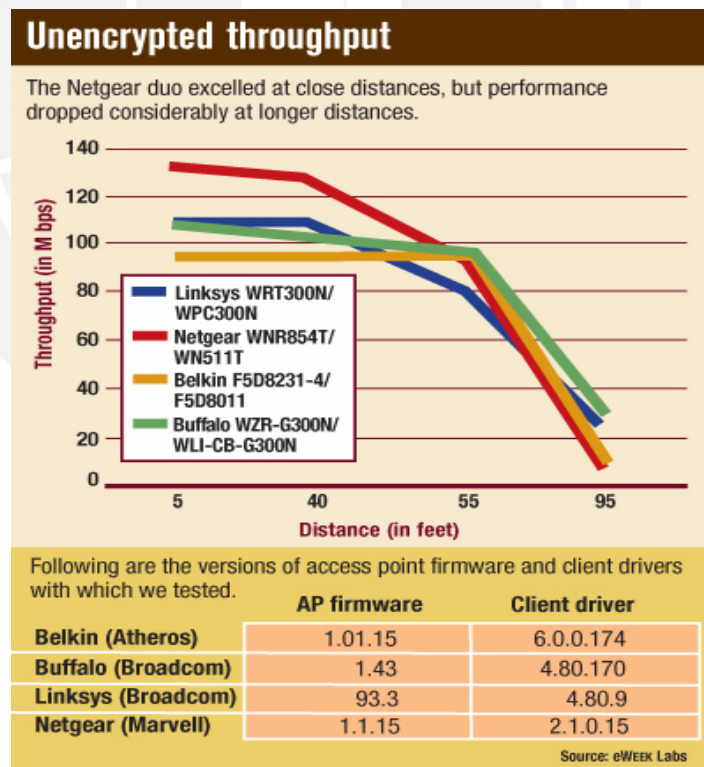
Intel's Centrino adapter struggled with the Buffalo and Linksys routers if we configured the 20MHz channel in the upper band of the 40MHz channel. The numbers here show the 20MHz channel set to the lower band.  
\*Interoperability problems somewhat addressed by Belkin's beta client driver. \*\*Compatibility issues with Centrino 3945ABG in 40MHz mode. Source: eWeek Labs

Fuente: Laboratorios eWeek Julio 3 2006

Figura 10. Test de interoperabilidad de equipos 802.11pre-n [11]

Como se puede observar, la interoperabilidad decrece mucho cuando los equipos son de distinto fabricante, y esto es debido a que no se ha seguido una línea para la producción de los equipos. Como se puede rescatar del cuadro la velocidad del equipo NetGear ya superó los

100Mbps. Se debe tomar en cuenta que a inicios de año, como se mostró en el capítulo 2 solo se lograban tasas de 85Mbps. [11] Se espera que esto siga mejorando con las actualizaciones que aseguran los fabricantes de manera que se logren tasas de transferencia de hasta 200Mbps para cuando el estándar se ratifique. Si tratamos el tema de la distancia pues hay que decir que no se ha mejorado mucho con el paso de los meses. Lo que si ha mejorado es la tasa de transferencia a corta distancia y media distancia, de manera que sea estable como inicialmente fue propuesto por el estándar. Si consideramos esto, podemos decir que los equipos Belkin son los que se destacan debido a que a corta y media distancia no varía en mucho su tasa de transferencia a diferencia de los demás equipos actualmente en el mercado. Estos resultados se tomaron en Julio 3 del 2006. [7]



Fuente: Laboratorios eweek Julio 3 2006

Figura 11. Test de tasa de transferencia a corta, media y larga distancia [11]

A inicios de este mes se tomaron otras pruebas que muestran la mejora en cuanto a la tasa de transferencia a corta y media distancia, esto gracias a actualizaciones en el *firmware* de cada uno de los equipos pre-n.

Draft-N and Pre-N Routers

Draft-N and Pre-N Routers Compared						
Throughput measured in Mbps. High scores are best. Bold type denotes first place.	Distance to router (feet)				Technology	Chipset
	10	60	120	160		
<b>Buffalo WZR-G300N</b>	91.4	76.8	28.6	—	draft-n	Broadcom
<b>Linksys WRT300N</b>	89.4	75.0	25.0	—	draft-n	Broadcom
<b>Netgear WNR854T</b>	123.5	<b>104.8</b>	27.7	2.8	draft-n	Marvell
Linksys SRX400*	103.6	85.0	39.2	<b>28.2</b>	pre-802.11n	Airgo True Mimo Gen 3
Netgear RangeMax 240*	103.9	95.3	<b>44.5</b>	22.4	pre-802.11n	Airgo True Mimo Gen 3

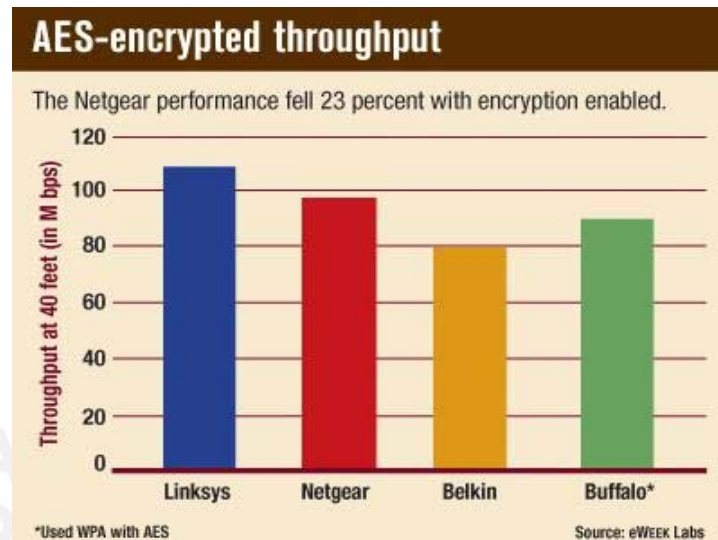
\* Reported for comparison.  
A dash indicates a loss of wireless signal at that distance.

Fuente: Laboratorios eweek Octubre 3

Figura 12. Cuadro comparativo del rendimiento 802.11pre-n según la distancia [11]

Al parecer ahora los fabricantes tienen como principal objetivo mejorar la tasa a corta y media distancia y por el momento dejar de lado la cobertura. Al revisar las especificaciones de cada uno de los equipos es fácil de determinar que los fabricantes se preocupan por la cobertura. Como se sabe, el papel de las antenas es muy importante para el desempeño a larga distancia, para esto, las antenas deben ser estables y ser adecuadas para la cobertura. En la gran mayoría se tiene 3 antenas externas pero en el caso del *router* NetGear se tienen las antenas dentro del equipo por lo que es lógico esperar que la cobertura no sea la misma aunque esto trae la ventaja de que las antenas mantienen siempre su posición vertical pero al observar los resultados de los *test* podemos decir que esto a influido en su desempeño a larga distancia. En cuanto a los demás equipos, la gran mayoría cuenta con 3 antenas externas pero muchos equipos se muestran inestables debido a que no tienen el peso adecuado para mantener el equipo en posición adecuada para que las antenas no pierdan su posición vertical, lo cual al final también influyó en los *test*. Para mejorar esto, es de esperar que los próximos *routers* se

espera que sean más pesados y las antenas externas como es el caso de Linksys para lograr la cobertura deseada.

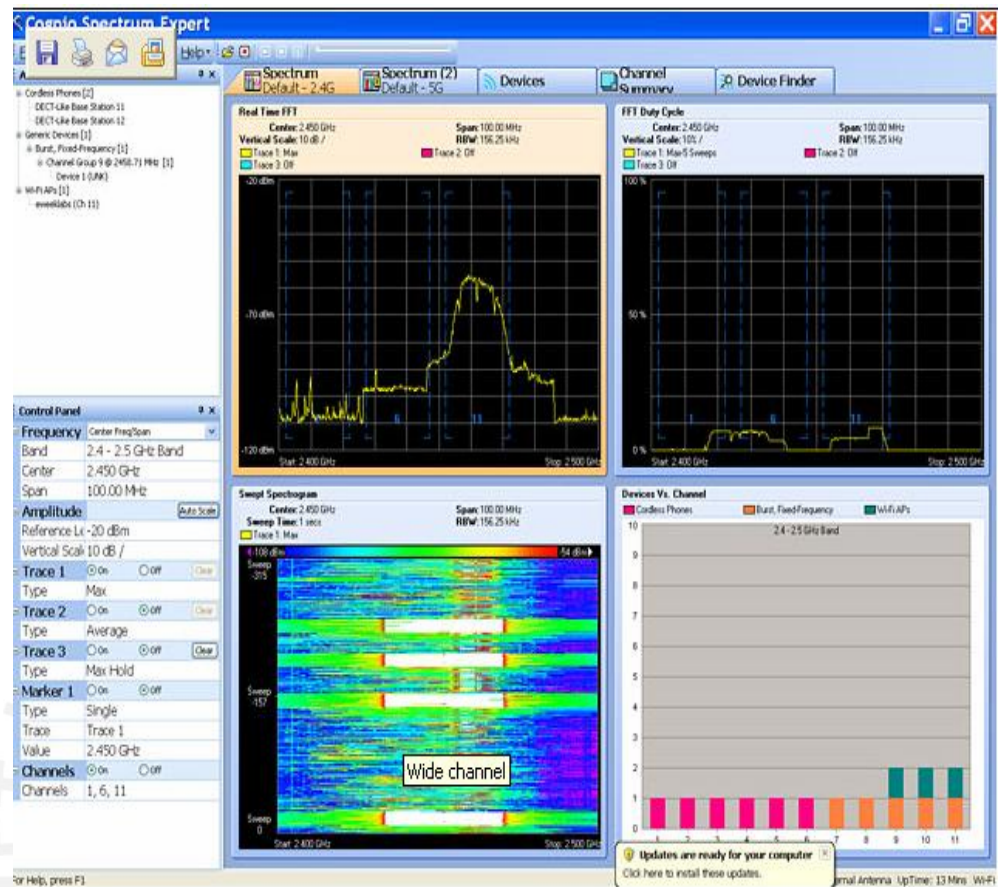


Fuente: Laboratorios eweek Julio 3 2006

Figura 13. Test de tasa de transferencia a corta, media y larga distancia con encriptación [11]

Otro punto a tomar en cuenta es el *throughput* cuando se cuenta con encriptación debido a que esto disminuye aproximadamente en 20% el desempeño obtenido [11]. Es por esto que es necesaria la mejora de los adaptadores en las redes futuras, es necesario el uso de WPA2 para que este porcentaje sea reducido. Actualmente NetGear, Linksys, Belkin entre otros ya cuentan gracias a las actualizaciones de *firmware* con WPA2. En el caso específico de WNR854T que usa el *chipset* Marvell se puede mostrar como fue su desempeño en cuanto a la potencia de transmisión. Se puede observar que estuvo operando en el canal 11 y de la misma forma la fuerza de la transmisión. Estos resultados fueron tomados considerando un escenario real con paredes vecinas en los laboratorios eweek durante el mes de Julio 2006.





Fuente: Laboratorios eweek Julio 3 2006

Figura 14. Test WNR854T [11]

Si nos basamos en los equipos que se encuentran actualmente en el mercado podemos decir que las pruebas han mostrado que 802.11pre-n ha logrado según el fabricante ser por momentos más veloz que la red cableada. Como se sabe, el *throughput* llega en el mejor de los casos a 85 ó 100Mbps en los equipos pre-n basados en el estándar 1.0, pero si se toma en cuenta que la red cableada no tiene una eficiencia de 100% debido a colisiones, se puede decir que existen mejoras respecto a la red cableada. Esto se logra, gracias a la posibilidad de contar con antenas inteligentes, esto permite que la transmisión ya no se dé por una antena sino por 2, además tenemos canales que pueden trabajar a 40Mhz para duplicar el ancho de banda. Por otro lado, si consideramos los resultados obtenidos con el *draft 2.0* observamos que el *throughput* para un canal de 20Mhz supera los 100Mbps y para un canal de 40Mhz puede

llegar hasta 300Mbps. [18] Las mejoras que va a traer 802.11n van a ser muchas, lamentablemente los resultados reales de equipos comerciales basados en el *draft* 1.0 tomados en los laboratorios no muestran un *throughput* como el esperado ni el alcance que debería lograr esta tecnología pero hay que tomar en cuenta que estos equipos ya están siendo actualizados al *draft* 2.0. Para soluciones de área local muestra muchas mejoras, pero no deja de ser inestable a las interferencias. Aún así, los equipos 802.11pre-n son una solución para aplicaciones de videoconferencia y VoIP desde múltiples usuarios. Por el momento se esperan los resultados de las pruebas de los equipos 802.11pre-n comerciales basados en el estándar 2.0 para de esta manera evaluar la evolución en las redes 802.11n. Se espera que su desarrollo como red de área local sea tan alentador como los resultados ya mostrados por la IEEE y con el tiempo logre una estabilidad que permita que 802.11n sea ratificado a fines del 2008 ó inicios 2009. [18] Por el momento se tienen los resultados obtenidos por la IEEE al momento de la aprobación del *draft* 2.0.

**Tabla 04. Tasa de transferencia a/b/g/n [18]**

	20 MHz Channel		40 MHz Channel	
	1 stream	2 streams	1 stream	2 streams
	Data Rate, in Mbps			
802.11b 2.4 GHz	1, 2, 5.5, 11			
802.11a 5 GHz	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54			
802.11g 2.4 GHz	1, 2, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54			
802.11n GI <sup>1</sup> =800ns 2.4 GHz	6.5, 13, 19.5, 26, 39, 52, 58.5, 65	13, 26, 39, 52, 78, 104, 117, 130		
802.11n GI <sup>2</sup> =800ns 5 GHz	6.5, 13, 19.5, 26, 39, 52, 58.5, 65	13, 26, 39, 52, 78, 104, 117, 130	13.5, 27, 40.5, 54, 81, 108, 121.5, 135	27, 54, 81, 108, 162, 216, 243, 270
802.11n, GI=400ns 2.4 and 5 GHz	7.2, 14.4, 21.7, 28.9, 43.3, 57.8, 65, 72.2	14.4, 28.9, 43.3, 57.8, 86.7, 115.6, 130, 144.4	15, 30, 45, 60, 90, 120, 135, 150	30, 60, 90, 120, 180, 240, 270, 300

Fuente: Certificación WiFi 802.11n draft 2.0

Los resultados de este segundo *draft* son alentadores y esto es debido a que se ha tomado otro parámetro que va a permitir superar las tasas de transferencias de los equipos legados siendo éste el intervalo de guarda. Si bien se sabe que el intervalo de guarda (GI) es 800ns para 802.11a/b/g, es decir, se tienen 800ns de espera entre cada símbolo OFDM para poder transmitir, 802.11n establece un intervalo de guarda de 400ns de tiempo de espera entre cada símbolo para asegurar que se disipe la señal previa. De esta forma se pueden observar resultados muy alentadores que van a permitir incrementar notablemente la tasa de transferencia. Como podemos observar de la tabla, los resultados obtenidos a mediados de este año son mucho más alentadores que los obtenidos hasta el año pasado. Se espera que esto siga mejorando y que se siga sosteniendo la dualidad de banda hasta ahora mencionada para obtener los mejores resultados con esta nueva tecnología. Si tomamos en cuenta un escenario de larga distancia, las velocidades de los enlaces varían. Podemos decir que las velocidades para 802.11 según los modos de funcionamiento varían desde 1 a 54Mbps para 802.11g y hasta la fecha, dependiendo del fabricante, desde 50Mbps hasta 105Mbps para los productos comerciales 802.11pre-n. Estos modos usan diferentes tipos de modulación y codificación. Hay que tener en cuenta que a medida que la velocidad se incrementa, se requiere de una mayor potencia en recepción para mantener un enlace con un BER (*Bit Error Rate*) baja. Esta potencia, llamada sensibilidad, obliga a usar velocidades bajas si se quiere lograr enlaces de larga distancia con una cierta estabilidad. Para 802.11b la diferencia en la sensibilidad entre 1 y 11Mbps suele ser de más de 10dB de manera que con un enlace a 1Mbps se puede hasta cuadruplicar el alcance que se tiene con 11Mbps. Si se toma en cuenta que la banda ISM impone limitaciones en cuanto al nivel de potencia, es fácil decir que se deberían usar velocidades bajas para obtener estabilidad y buena calidad en un enlace de larga distancia. Pero 802.11g apareció con modelos de tarjeta con mejores

sensibilidades como la tarjeta Ubiquity SR2 802.11b/g de 400mW que mejoró la sensibilidad considerablemente. Con esto se logró una diferencia de sensibilidad de 3dB entre 802.11b a 1Mbps y 802.11g a 6Mbps. Para la tecnología 802.11pre-n no hay una gran variedad de tarjetas difundidas, se tiene el *access point* WAP4400N, el cual posee una sensibilidad de -69dBm para 300Mbps, -73dBm para 54Mbps y -88dBm para 11Mbps. La tarjeta Ubiquity cuenta con una sensibilidad de -98dBm mientras que para WAP4400N es de -88dBm. [7, 10, 12] Podemos decir que la sensibilidad de 802.11g es mejor que la de los equipos 802.11pre-n, pero hay que tener en cuenta que la tasa de transmisión de estos equipos mejorará así como la sensibilidad a medida que se difunda esta nueva tecnología. Es importante señalar que un valor fijo de velocidad nos va a permitir mejorar la estabilidad, de manera que se pueda soportar una cierta pérdida que se presenta con el tiempo por pérdida de alineación de las antenas, factores climáticos u otros. Si tomamos en cuenta la interferencia intersimbólica, a medida que la distancia aumenta, aumenta el retardo, de manera que la ISI aumenta, dando como consecuencia un BER muy superior al esperado para una determinada relación señal a ruido.

- **Potencia**

En el caso de enlaces de larga distancia WiFi se desea tener un balance de enlace en que la potencia recibida sea superior a la sensibilidad del receptor, teniendo en cuenta la potencia transmitida, las ganancias y las pérdidas de enlace:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Tx} - L_{ccTx} - L_{ccRx} - L_p + G_{Rx} \quad [15]$$

Donde  $P_{Rx}$  es la potencia recibida por el receptor,  $P_{Tx}$  la potencia transmitida por el transmisor,  $G_{Tx}$  la ganancia de la antena del transmisor en la dirección del enlace,  $L_{ccTx}$  las pérdidas en los

conectores y cables en el sistema transmisor,  $L_{ccRx}$  las pérdidas en los conectores y cables en el receptor,  $L_p$  las pérdidas de propagación y  $G_{Rx}$  la ganancia de la antena del receptor en la dirección del enlace.

Para calcular las pérdidas de propagación en el espacio libre se tiene:

$$L_p(dB) = 92.45 + 20 \log f(GHz) + 20 \log d(Km) \quad [15]$$

Para la banda ISM se reduce a lo siguiente:

$$L_p(dB) = 100 + 20 \log d(Km) \quad [15]$$

La fórmula anterior se cumple siempre y cuando se asegure una línea de vista, es decir, la primera zona de Fresnel libre en un 60% en todo su trayecto y así mismo no se tenga en cuenta los efectos multitrayecto. En la práctica, el resultado real es sensiblemente peor que el teórico, debido al entorno geográfico y condiciones climáticas. Esto genera pérdidas de propagación muy superiores a las teóricas. Para equipos legados se puede tener una mayor exactitud con el modelo Longley-Rice empleado por el *software* radiomobile aunque los resultados no son los exactos debido a que hay cierta información que no es procesada. Si bien da una aproximación de la potencia requerida y de un posible número de repetidores, es absolutamente necesaria una visita al lugar antes del diseño de una red. Cabe resaltar que si se opera en la banda ISM vamos a tener una menor pérdida de propagación que si se optase por operar en la banda de 5Ghz.

- **Problemas con los fenómenos meteorológicos**

Para enlaces de larga distancia, éste parámetro es de suma importancia, especialmente en zonas fuera de la costa donde el clima podría afectar de forma crítica a la estabilidad de un enlace. En las zonas rurales

existen muchos factores que generan atenuación. La lluvia influye de manera sensible a partir de los 10Ghz. Se debe tomar en cuenta que en enlaces muy largos una pequeña atenuación en dB/Km puede resultar importante. La atenuación de nubes y niebla no es considerada pero va a tener un mayor efecto a medida que la distancia sea mayor.

- **Diversidad**

La existencia de más de una antena permite una mejor calidad de recepción/transmisión. Las tecnologías legadas WiFi cuentan con 2 conectores para antenas exteriores. Aunque una antena transmita por sólo uno de los conectores puede perderse una potencia por el otro, es por esto que en estos casos opta por desactivar la diversidad y activar una única antena para transmisión/recepción. Esto no ocurre con todas las tarjetas, pero puede influir en una pérdida de hasta 2dB según sea la tarjeta. En el caso de 802.11pre-n se cuenta con 3 antenas, 2 de las cuales se usan para transmitir. De la misma forma, se debe verificar si existe alguna pérdida en una de las antenas. Si llegase a ocurrir, se optaría por desactivar la diversidad de manera que no existan pérdidas y se pueda aprovechar el uso de las 2 antenas y la potencia al máximo.

- **Equipos empleados**

Para enlaces de área local los equipos a utilizar son los mismos según la topología que se disponga. Sin embargo, en el caso de tener un enlace de larga distancia tenemos que mencionar ciertos parámetros a tomar en cuenta

- **Antenas**

Se requieren antenas muy directivas, para de esta manera poder cubrir enlaces punto a punto de larga distancia. Se debe tener cuidado con el efecto del viento y sujeción debido a que si ésta es deficiente puede variar sensiblemente la ganancia de la antena. Ya sea la frecuencia de

operación y según sea el diseño de la red se van a optar por antenas de 24dBi a 2.4Ghz y 29dBi para 5Ghz. En el caso de tomar antenas sectoriales se suelen usar antenas de 17dBi para 2.4Ghz. [15] Esto puede variar, dependiendo de las condiciones del diseño de la red.

➤ **Cables, conectores, *pigtails***

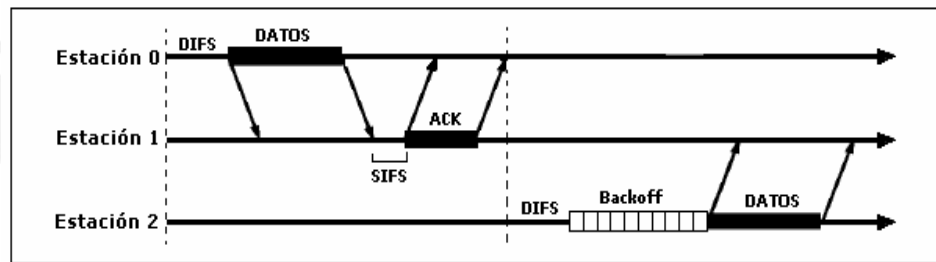
Los equipos de transmisión no siempre transmiten lo esperado, los cables y conectores atenúan un poco más, etc. Se espera que las pérdidas sean las mínimas para que esto no influya mucho en la pérdida de propagación.

### 3.2.2 Aspectos de la capa MAC

El uso de Wi-Fi en escenarios de larga distancia se logra gracias a la posibilidad que algunas tarjetas nos dan para modificar ciertos parámetros de la capa MAC. Resulta fácil darnos cuenta que a medida que la distancia de un enlace incrementa, el modo de transmisión cambia y es por esto que a continuación se indica cuáles son los parámetros a tomar en cuenta para lograr un enlace estable en un escenario de larga distancia.

Para analizar la capa MAC debemos empezar diciendo que tanto los distintos IFS (*Inter Frame Space*) como la capa MAC han sido concebidos para redes de área local, es decir, para redes cuyo radio de cobertura no superan los centenares de metros. Cuando se desea realizar un enlace de larga distancia los parámetros cambian. El tiempo de propagación de la trama entre el transmisor y el receptor varía. En redes de área local, este tiempo no es significativo es por esto que en el estándar 802.11 no se toma en cuenta. A medida que la distancia crece este tiempo varía y afecta directamente a los parámetros. El *draft 2.0*,

mantiene el modo de propagación que tienen los estándares legados para comunicaciones con equipos 802.11b/g. Para escenarios de larga distancia se debe tener presente que al ser una comunicación entre de equipos 802.11n resulta conveniente usar la agregación [8]. Para esto hay que verificar como varía el tiempo de propagación con los nuevos tamaño de cabeceras, ACK y trama. En las siguientes figuras se muestra el cambio que sufre el tiempo de propagación para el caso de una comunicación con equipos legados y en una comunicación 802.11n. Como primer caso se va a mostrar el tiempo de propagación entre dos estaciones 802.11b/g para observar como varía el tiempo de envío de trama y una confirmación de trama para un enlace de larga distancia. En la figura se tiene un ejemplo de transmisión entre la estación 0 y la estación 1. Asimismo, muestra el tiempo que la estación 2 espera para poder recién transmitir.



Fuente: *Redes Mesh WiFi de bajo coste*  
 Figura 15. Funcionamiento de DCF, tomando en cuenta el tiempo de propagación [15]

En el caso de existir agregación entre 2 estaciones en la tecnología 802.11n sería

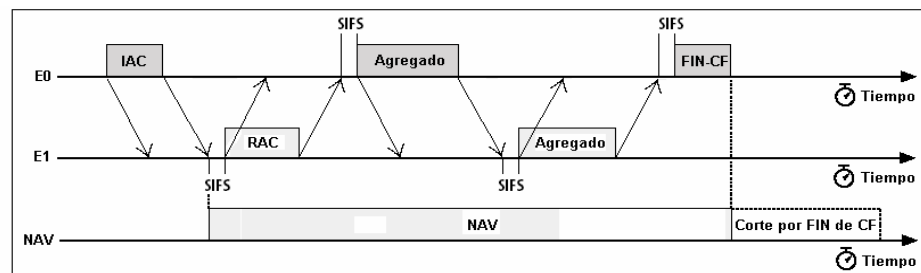


Figura 16. TGNSync gran NAV, tomando en cuenta el tiempo de propagación [8]



- **ASLOT'TIME**

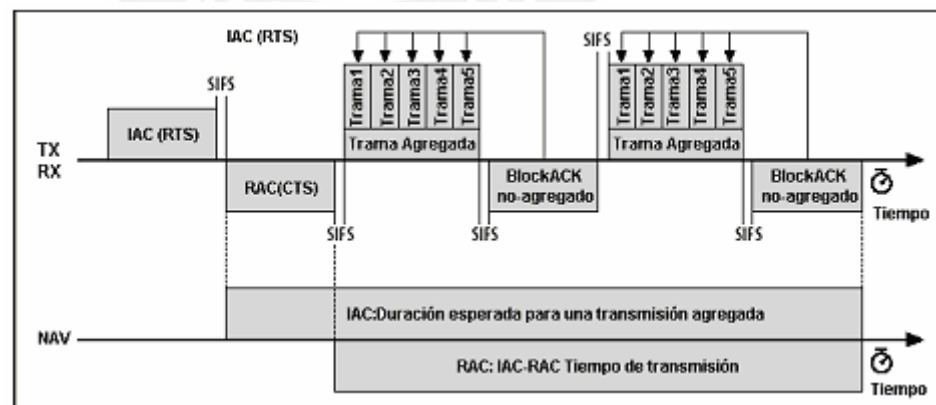
Este parámetro es un periodo de tiempo fijo dado por 802.11 el cual permite definir una ventana de contención con el propósito de evitar colisiones. Para que una estación haga uso del canal debe cumplir con la espera del tiempo de transmisión más un tiempo DIFS y luego esperar el tiempo de ventana de contención dado por un número aleatorio de bloques "aSlotTime". Este protocolo es llamado CSMA/CA el cual permite evitar posibles colisiones. El parámetro aSlotTime va a permitir tener un tamaño de ventana de contención que evite que una estación transmita cuando el canal se encuentra en uso. De esta forma se obtiene una certeza en cuanto a la disposición del canal. En una red de área local, donde las distancias son cortas el tiempo de propagación es menor al aSlotTime, de tal forma que la probabilidad de colisión es mínima. Esto no ocurre para enlaces de larga distancia donde el aSlotTime resulta muy pequeño. Es por esto la importancia del manejo de la ventana de contención, de manera que las estaciones vecinas escuchen durante el intervalo de tiempo en que otra transmite. En el caso de redes 802.11b tenemos que ese tiempo es de  $20 \mu s$  y si multiplicamos este valor por la velocidad de la luz tenemos una distancia de 6Km. Podemos decir, que para una transmisión a esta distancia puede ocurrir que la notificación de que una estación transmite llegue luego del aSlotTime produciendo una colisión. Para redes 802.11g el SlotTime puede ser de  $9 \mu s$ , obteniendo una distancia de 2.7Km si es 802.11g puro, en caso de ser compatible con 802.11b el equipo tendrá un SlotTime de  $20 \mu s$ . WWiSE define un SlotTime de  $9 \mu s$  en el caso de ser 802.11n puro, en caso de ser compatible con 802.11b/g el SlotTime es de  $20 \mu s$ . De esta forma se puede concluir que al tener un escenario de larga distancia, donde el tiempo de propagación resulta muy superior al de un escenario de área local, va a

resultar muy importante el manejo de esta ventana de contención de tal forma que el enlace no presente colisiones por solicitud de canal.

- **ACKTimeout CTSTimeout**

ACKTimeout es un parámetro muy poco mencionado en el estándar 802.11 y en el pre-estándar 802.11n no se menciona y es debido a que el tiempo de propagación en una red de área local no influye en el ACKTimeout. Este parámetro es el tiempo el cual un equipo transmisor va a esperar por la confirmación de un paquete transmitido. Luego de cumplido este tiempo, el paquete se da por perdido. Hay que tener en cuenta en estos casos que no se puede distinguir si el paquete transmitido se ha perdido ó si en realidad la confirmación ACK fue la extraviada. Al ocurrir esto el tamaño de ventana de contención crece y se retransmite el paquete. Este parámetro no se encuentra definido en el estándar aunque debería ser fijo para cada distancia. Para enlaces de larga distancia se suele aproximar el ACKTimeout a un valor un poco más que el doble del tiempo de propagación dependiendo de la distancia del enlace. De la misma forma, a nivel de la capa física, se aproxima el CTSTimeout cuando se usa el mecanismo RTS/CTS. Existen dos clases de restricciones para que un paquete reciba un ACK. En primer lugar, debe cumplirse que el transmisor debe recibir esta confirmación en un tiempo menor al establecido por el ACKTimeout (valor no fijado en el estándar 802.11 debido a que se hizo pensando en redes de área local). En segundo lugar, cuando un equipo que comparte el medio quiere transmitir, el primer paso, luego de concluida la transmisión es esperar un tiempo DIFS. En el caso de que el medio continúe libre, empieza la cuenta regresiva dado por la ventana de contención para luego empezar con el mecanismo RTS/CTS. El tiempo que se define en la ventana de contención esta vinculado con intervalos de aSlotTime, es por esto la importancia del tener un control de este tiempo. La primera condición es relativamente fácil de controlar

debido a que para cumplir con esta condición solo habrá que asegurar que el ACKTimeout es lo suficientemente grande para permitir que los ACK puedan llegar a tiempo. Es por esto que para este tipo de enlace WiFi la distancia condiciona los parámetros, ya que esto afecta directamente al valor del ACKTimeout. En todo caso, el límite para definir una distancia en un enlace WiFi 802.11 estará dado por el SlotTime que poseen las demás estaciones ya que de esta manera podremos controlar el tiempo de ventana de contención. Para el caso específico de 802.11n sabemos que para equipos legados la transmisión va a mantener los parámetros antiguos pero en el caso de ser un enlace 802.11n de forma similar va a existir un método RTS/CTS para tomar el canal y a nivel de la capa MAC va a existir un ACK similar al de los equipos legados, en este caso vamos a tener un BlockACK el cual va a estar relacionado para todas las tramas contenidas en la agregación. De esta manera se logra tener un menor tiempo de proceso en el AP, debido a que no se va a analizar más que el HID (*Header ID*). De esta manera ahora vamos a poder ahorrar 22 bits de información en las cabeceras para sólo se analizará el HID. A continuación se mostrará el proceso que sigue 802.11n para establecer la agregación y así mismo se mostrará como sería en el caso de un enlace de larga distancia.



Fuente: 802.11 Wireless Networks 2da Edición  
Capítulo 15, página 328

Figura 17. BlockACK definido por TGNSync en una red de área local [8]

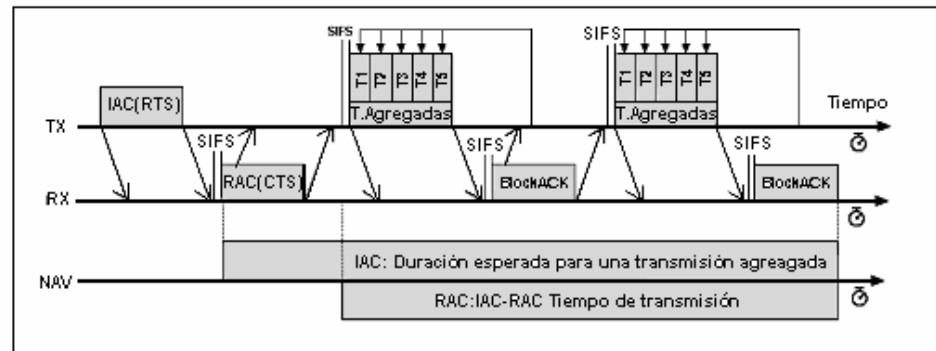


Figura 18. BlockACK TGnSync en una comunicación a larga distancia [8]

Como se puede observar, para que el protocolo funcione de forma correcta hay que asegurar que el  $aSlotTime$  sea superior al tiempo de propagación. Hay que tener en cuenta que a medida que el tiempo de propagación supera el de un slot, aumenta la probabilidad de que una estación que comparte el mismo medio de por libre el canal y luego de esperar los periodos de tiempo DIFS y el tiempo de la ventana de contención, empiece a transmitir cuando en realidad existe otro equipo utilizando el canal. En este caso, aunque el canal se encuentre ocupado por una estación, a medida que la distancia aumenta, de la misma forma aumenta la probabilidad de que otra estación transmita antes de que se reciba la confirmación ACK. A pesar de esto, la red va a funcionar pero de forma deficiente. Con estas consideraciones se puede decir que a medida que la distancia sea mayor a la de 6Km (para un  $aSlotTime$  de  $20 \mu s$ ) el exceso de distancia va a generar un gran número de colisiones que harán el enlace inestable. Esto también va a depender de la intensidad de tráfico, si el tráfico es muy intenso, se sumarán más colisiones y se observará como las prestaciones del enlace decaen sensiblemente, sobre todo en los enlaces punto multipunto. El modo RTS/CTS, permite que las estaciones vecinas sepan que el canal va a ser utilizado, es decir, este modo está pensado para enlaces punto multipunto, de manera que se eviten colisiones de paquetes que sobrepasen un umbral de tamaño. Este modo permitirá a las estaciones

vecinas no escuchen la transmisión pero puedan conocer el tiempo que va a ser utilizado el canal dado por el receptor de manera que puedan establecer su NAV (*Network Allocator Vector*). Como se mostró en las figuras 10 y 11, el tiempo de ocupación del canal NAV contiene el tiempo de transmisión de paquetes a transmitir seguido de un ACK separado por un SIFS. Hay que tomar en cuenta que este tiempo es para el receptor debido a que la distancia va a ser que el transmisor reciba este paquete un tiempo aproximadamente igual al de dos veces el tiempo de propagación. En enlaces punto a punto no tiene mucho sentido usar el mecanismo RTS/CTS ya que no van a existir colisiones de paquetes largos y de esta forma se va a poder ahorrar el tiempo que implica este método. Actualmente existen trabajos de enlaces WiFi pero la gran mayoría no toma en cuenta el tiempo de propagación, es importante determinar el comportamiento de esta tecnología para enlaces punto a punto y punto multipunto. Actualmente en EHAS existen grupos de trabajo que se dedican a observar este comportamiento. [19]

### 3.2.3 Arquitectura de redes WiFi 802.11 de larga distancia

802.11n tiene dos tipos de arquitecturas de red. La primera es un enlace punto a punto y la segunda es un enlace punto a multipunto. En una red punto a punto a medida que se sobrepasa los 6Km de distancia, la probabilidad de colisión crece proporcionalmente según sea el número de saltos de 6Km, esto ocasionaría que paquetes transmitidos en un slot determinado colisionen. Como se mencionó antes, el número de colisiones va a estar directamente vinculado con el tráfico. En caso de que las transmisiones no sean muy frecuentes, el número de colisiones no será muy alto mientras que si se tiene mucho tráfico y se sature el canal, la probabilidad de colisión aumentará significativamente. Asimismo, si el tamaño de ventana de contención es pequeño, la colisión será muy frecuente. Es necesario tener un control del

ACKTimeout, de manera que este sea superior a dos veces el tiempo de propagación (dependiendo de la distancia del enlace). Para un enlace punto a multipunto, se va a tener que tener en cuenta los mismos casos que para un punto a punto pero además hay que considerar el método de RTS/CTS. En este caso la probabilidad de colisiones crece debido a que si un ACK no llega luego del tiempo DIFS, entonces la estación podría transmitir, a menos que el ACKTimeout sea lo suficientemente grande para asegurar que no exista este tipo de colisiones. Pero estaciones vecinas que esperan a que el canal se libere pueden ocuparlo de forma inmediata y de esta manera generar colisiones. Gracias a pruebas realizadas con el software Radiomobile se puede conocer el caso de enlaces reales y de esta manera conocer el comportamiento de WiFi aproximado en enlaces de larga distancia. En el caso de que se usen antenas directivas 24dBi y omnidireccionales de 12dBi, con unas pérdidas de 1dB por conector en cada sistema, con transmisores de 25dBm, y con un margen aproximado de -92dBm de sensibilidad, se puede calcular una distancia aproximada que se podría conseguir para enlaces punto a punto. En el caso de un enlace de 2Mbps se podría conseguir 90Km. Enlaces punto a multipunto se tiene menos ganancia en uno de los extremos, lo que limita el alcance. Al momento de usar una antena omnidireccional en la estación base (el peor de los casos) se restringiría la distancia a un poco más de 25Km y esto es de esperarse ya que la antena omnidireccional no concentra su potencia en un punto sino que irradia de forma similar en todo sentido y esto hace que los receptores requieran mucho más potencia para lograr recibir la señal. Para lograr enlaces de 11Mbps, teniendo en cuenta la diferencia de sensibilidad no se podría llegar a una distancia mayor a 40Km para un enlace punto a punto ni superar una distancia de 10Km para un enlace punto a multipunto. Hay que tomar en cuenta que estos cálculos son válidos siempre y cuando se asegure la línea de vista. En el caso de los equipos comerciales 802.11pre-n, como se mencionó con anterioridad,

hasta el momento tenemos una sensibilidad de  $-88\text{dBm}$  (menor a la que se cuenta con los equipos b/g). Es por esto que el comportamiento de estos equipos se puede decir por el momento que no va a tener el mismo alcance que muestran los equipos 802.11b/g. Por otro lado, estos equipos son basados en el *draft* 1.0 y se espera que la sensibilidad mejore con el estándar final. Con lo que se tiene hasta el momento, para lograr el enlace se requeriría una mayor potencia para lograr enlaces de larga distancia y se tendría que analizar el comportamiento de los equipos para ver como se comporta ante interferencias. Por el momento se puede decir que 802.11pre-n podría dar soluciones de gran ancho de banda para enlaces de gran cobertura debido a que las modificaciones de la MAC y capa física siguen un comportamiento similar al de los equipos legados. Hay que tener en cuenta que se deben controlar los parámetros para tener en cuenta el comportamiento de estos equipos a larga distancia. Teóricamente, se puede concluir hasta el momento que sí sería posible lograr enlaces de gran ancho de banda con 802.11n, siempre y cuando se controlen los parámetros que permitan manejar el ACKTimeout y controlar la ventana de contención. Por otro lado, los equipos 802.11pre-n compatibles con 802.11b/g tienen un SlotTime de  $20\ \mu\text{s}$ . Cabe resaltar que 802.11n tiene una ventana de contención es de 15 a 1023 [16], similar al de la tecnología 802.11b/g. En casos reales, los valores que van a afectar van a ser las interferencias, ya que no se puede predecir el comportamiento que tendrán las antenas inteligentes para enlaces de gran cobertura. Muchas de estas dudas quedarán resueltas cuando el estándar finalmente este aprobado y se comercialicen los equipos 802.11n, ya que se asegura que tendrá muchos cambios que permitirá a esta tecnología ser mucho más estable de lo que se ha encontrado con los equipos 802.11pre-n. Es muy probable que muchos de los parámetros técnicos así como las modificaciones no varíen en lo absoluto, de manera que teóricamente no tendría ningún problema en trabajar con

enlaces de gran cobertura. La incertidumbre es si se va a poder mejorar la sensibilidad y como se van a comportar las antenas inteligentes en un medio rural. No se podría asegurar nada, debido a que tanto la agregación como el *bursting* son métodos que no se han usado antes en enlaces WiFi de larga distancia para lograr tasas de transmisión realmente altas. Por el momento se sabe que una de las grandes dificultades que va a tener esta tecnología va a ser las interferencias, sobre todo en áreas rurales. Lo más recomendable para dar una conclusión acertada es esperar a los equipos 802.11n para con pruebas demostrar el comportamiento que tiene y decidir si sería una tecnología de banda ancha en zonas rurales.

### 3.3 Áreas urbanas

- **Redes de oficinas**

Actualmente las redes de oficinas WLAN son muy populares, como se mencionó anteriormente WLAN permite flexibilidad y un rápido acceso para los usuarios temporales. Básicamente las redes de oficinas suelen tener puntos de red que le permite a los miembros de las mismas conectarse rápidamente, pero también resulta importante resaltar el hecho que en estas redes es común encontrar usuarios temporales que asimismo requieren de un acceso inmediato. Como solución a esto, se suele tener un punto de acceso que permita a estos usuarios no tener inconvenientes para el acceso. Por otro lado, el hecho de no perder la conexión en ningún momento hace que las redes tengan una cobertura total y para esto la solución más popular es la de una red WLAN. A continuación se muestra una red WLAN en una oficina.



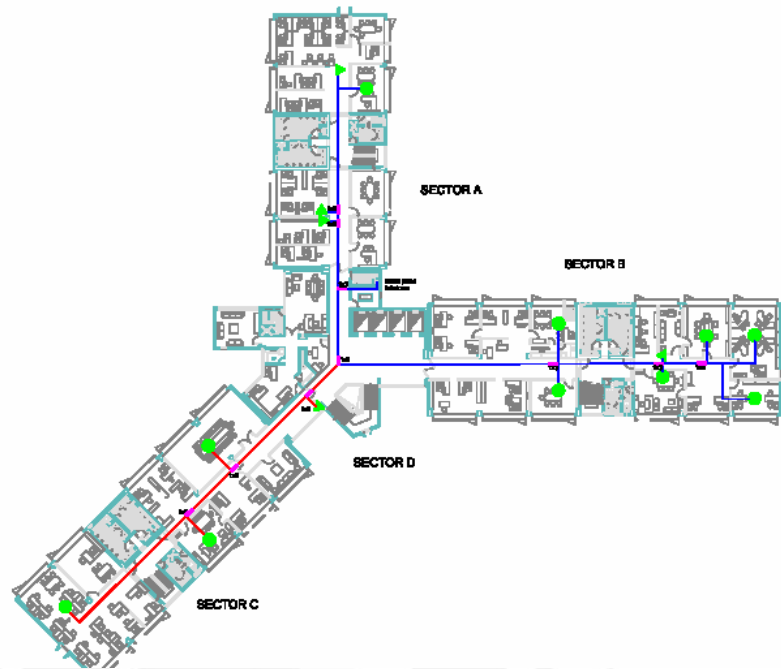


Figura 19. Cobertura inalámbrica MTC - Piso 11 [21]

En la figura se muestra las oficinas del piso 11 del MTC. En este caso se tiene un área amplia la cual resulta difícil de cubrir con solo antenas omnidireccionales. Como se puede apreciar, las conexiones entre las oficinas son pasadizos amplios por lo que resulta conveniente tener una disposición de antenas directivas para cubrir las zonas de los pasadizos y antenas omnidireccionales en zonas donde se encuentran las salas de conferencia o gran cantidad de oficinas. Con esto se logra evitar los puntos muertos y se amplia la cobertura donde muchas veces resulta difícil que llegue el cable. Es importante tomar en cuenta que las empresas requieren un acceso constante a la red por lo que resulta muy importante contar con una red WLAN con una buena disposición de antenas sobre todo en ambientes empresariales que permita asegurar la conectividad en todo momento. La tendencia en estos tiempos es de tener redes WLAN robustas debido a que otorgan escalabilidad y resulta ser una propuesta de bajo coste a comparación de una red cableada. Poco a poco las redes inalámbricas, conforme se vayan

volviendo más robustas, van a reemplazar a las redes cableadas gracias a su flexibilidad, acceso y a la alta disponibilidad a aplicaciones empresariales avanzadas.

- **Redes de campus**

Este tipo de redes son troncales de alta velocidad (generalmente Gigabit Ethernet) las cuales integran entornos y servicios diferentes ya sea voz datos o video en una única infraestructura IP, en ámbitos metropolitanos. Generalmente estas redes incluyen facilidades de gestión, redes virtuales, y encriptación en la infraestructura. Es por esto que pueden tener características comunes con las redes multiservicio, pero se distinguen por ser una WAN extensiva. Las redes de campus se generalmente cuentan con una troncal basada en fibra debido a su capacidad de transmisión y a su baja tasa de errores, pero como se mencionó anteriormente la función de las redes WLAN es cubrir las zonas por las que cuesta mucho hacer una extensión. Estos escenarios cuentan con muchas zonas abiertas en las que muchas veces resulta importante colocar una antena para mejorar la cobertura. Al tener una gran cantidad de usuarios este tipo de redes basan su troncal en fibra y finalmente en las oficinas se usan tanto las redes cableadas y WLAN para las zonas muertas y mejorar el acceso de usuarios móviles. Para lograr cubrir las zonas abiertas resulta de suma importancia el uso de antenas direccionales sobre un soporte que asegure una línea de vista

- **Hot Spots**

Un hot spot es una zona de cobertura Wi-Fi, en el que un punto de acceso o varios proveen servicios de red a través de un proveedor de servicios de Inalámbricos. Suelen ubicarse en lugares públicos como aeropuertos, bibliotecas, centros de convenciones, cafeterías, hoteles, etcétera Gracias a los hot spots se puede otorgar un servicio de Internet

en lugares públicos. Se sabe que este servicio puede ofrecerse de forma gratuita o pagando una suma que depende del proveedor. En este tipo de redes se cuentan con antenas omnidireccionales y antenas direccionales de baja potencia, que permiten cubrir el área deseada. Para este tipo de redes resulta importante el nivel de seguridad que se quiere para reconocer a los usuarios conectados. Cuando el servicio es gratis como suele ser en los cafés, bibliotecas el nivel de seguridad es mínimo debido a que se quiere una conexión rápida de los usuarios. En cuanto a los hot spots pagados como los son en los hoteles y aeropuertos el nivel de seguridad sí resulta importante en el cual se registra una la dirección física que permite identificar como un usuario válido. Los hot spots resultan de una forma importante para lograr que los usuarios tengan acceso a la Internet cuando se encuentran fuera de la oficina u hogar. Wi-Fi va aumentando la compatibilidad con los dispositivos día a día, logrando de esta forma que los PDA, computadores y teléfonos se conecten mediante este sistema.

- **Redes domiciliarias**

Este tipo de redes cuenta por lo general por un solo punto de acceso que permite lograr una cobertura para las zonas que se quiere. Como se mencionó anteriormente, resulta costosa una instalación de puntos de red cableados ya que esto implica gastos extras en mano de obra y es por esto que Wi-Fi ha resultado ser una solución atractiva en estos casos. Gracias a la penetración con la que cuenta, se pueden cubrir las zonas de interés sin mayor problema con las antenas omnidireccionales con que cuentan estos equipos. Para este tipo de redes los usuarios no han requerido mucho ancho de banda pero con el tiempo, las aplicaciones para transporte de voz, datos y video hace exige una cierta estabilidad y capacidad para lograr una transferencia sin problemas y es debido a esto que Wi-Fi también ha logrado mejorar sus tasas de transferencias y mejorar su cobertura. La tendencia para este tipo de

redes es de mejorar cada vez los puntos de acceso de manera que estas antenas puedan cubrir toda una casa sin tener puntos muertos y permitir que el envío de archivos pesados y video se realice con normalidad. En el mercado los equipos Wi-Fi mejoran cada vez más pero se debe tomar en cuenta que para obtener una red robusta, no sólo deben mejorar los puntos de acceso sino también la tasa de transmisión que ofrecen los proveedores de Internet.

- **Redes punto a punto**

Las redes punto a punto han sido una solución de interconexión desde hace mucho tiempo y la participación de Wi-Fi se ha venido dando desde hace varios años gracias a la tecnología 802.11b/g al resultar una solución de menor costo. Este tipo de escenarios se utiliza como medio de interconexión de redes. Las aplicaciones para las redes punto a punto pueden ser muchas debido a que la potencia de las antenas va a determinar la distancia y se puede transmitir todo tipo de aplicaciones siempre y cuando se tenga un ancho de banda adecuado. Generalmente se usan para otorgar servicio de Internet a zonas alejadas, las cuales son difíciles de llegar con cable. Asimismo estas redes son comunes para las empresas debido a que permiten utilizar un enlace para conectar redes sucursales con la red principal, siendo esto transparente para los usuarios remotos. A pesar de esto, es conocido que en el ámbito empresarial se suele contar con una red de fibra debido al ancho de banda y la estabilidad que esta otorga, pero poco a poco las soluciones inalámbricas se van haciendo más robustas y es debido a su simple instalación y a su bajo coste que en muchos casos se tienen redes punto a punto Wi-Fi. Como ejemplo se puede comentar acerca de la red de Teknoquímica S.A. Es conocido que hace poco esta empresa sufrió un incendio que generó múltiples pérdidas al quemar almacenes de materiales y de conexión con ciertos sectores en la empresa. La red de fibra con la que contaban quedó inutilizable y es debido a esto que uno

de los sectores no contaba con un acceso a la red. Para esto la solución pronta fue realizar un enlace Wi-Fi punto a punto para de esta forma no dejar inhabilitado ese sector. El proceso de instalación duró solo 1 día en el cual se habilitaron 2 antenas proxim con línea de vista que aseguraba la transferencia de datos y voz. En el nodo remoto sólo requirió de un punto de acceso y un equipo de VoIP para lograr tener los mismos servicios con los que se contaban antes del desastre.

### 3.4 Áreas rurales

- **Proyectos de comunicación rural**

Las redes 802.11 han sido una solución a lo largo de los años para realizar conexiones de larga distancia en zonas rurales, gracias a WiFi se han podido conseguir enlaces punto a punto con una reducción de precio considerable, pero hay que tener en cuenta que WiFi no aparece con la finalidad de permitir enlaces a larga distancia, es por esto que se deben tener muchas consideraciones para decidir si esta tecnología va a ser capaz de trabajar a larga distancia. 802.11b/g pueden lograr enlaces punto a punto de larga distancia de varios kilómetros, con algunas variaciones en el *firmware* y colocando la antena adecuada. Como se menciona en el segundo capítulo, 802.11n realiza variaciones en la capa de enlace MAC así como en la capa física, por lo que no se asegura que tenga el mismo desempeño en larga distancia. Es importante tomar en cuenta que con la solución MIMO, las antenas inteligentes con las múltiples cadenas van a poder lograr un enlace de banda ancha sólo en redes punto a punto de larga distancia, debido a que las interferencias en el medio inalámbrico juegan un papel importante. Como se mencionó ya existen muchos proyectos en zonas rurales que adaptan una tecnología de área local en escenarios de larga distancia. EHAS ha realizado múltiples proyectos de ayuda social en provincia como el proyecto llamado “Redes Mesh Wi-Fi de Bajo Coste”. Este proyecto se

realizó en Cusco y propone el uso de la tecnología Wi-Fi como solución de acceso para transmisión de voz y datos. En este proyecto resulta importante el hecho de optimizar el uso del ancho de banda y tomar en cuenta los parámetros que permitieron asegurar una red robusta. En este caso se transmitió datos y voz y se pudo lograr calidad de servicio, permitiendo que los paquetes de VoIP tengan una prioridad ante los datos. A través de este proyecto se obtuvieron conclusiones para estos enlaces debido a que el factor climático resulta ser un factor fundamental para zonas que se caracterizan por tener un clima tropical. Asimismo resulta importante mencionar que EHAS ha realizado diversas pruebas en enlaces Wi-Fi de larga distancia. El trabajo [19] recoge las primeras pruebas de campo en este sentido realizadas en Colombia a mediados de abril del 2005. Las pruebas tomadas en Cusco permitieron lograr un enlace de 40Km en Josojahuarina y Josojahuarina. Para esto se utilizó una tarjeta Ubiquity de 400mW. Este enlace tuvo una tasa de transferencia de más de 6.5Mbps en modo “g”. Los parámetros modificados en este proyecto fueron el ACKTimeout y el SlotTime a través del *driver* Madwifi. Este proyecto también realizó un enlace de 11Km entre Josojahuarina y Urcay configurando una tarjeta Senao 2511D PLUS EXT2 de 200mW.

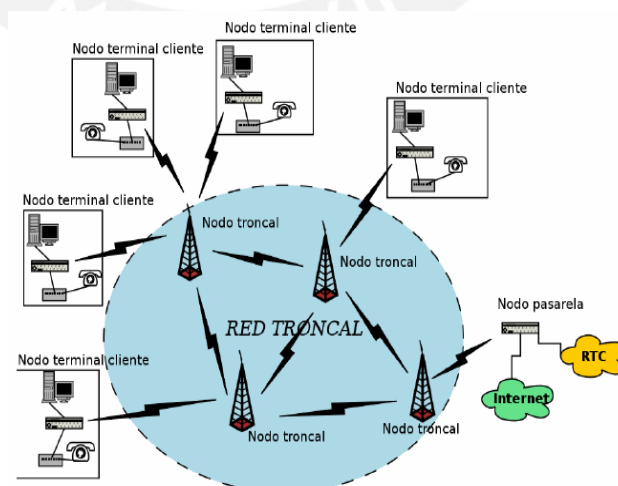


Figura 20. Red MESH Wi-Fi Cusco-Perú [15]

Gracias a este trabajo se recogen algunas conclusiones para este tipo de proyectos en áreas rurales.

- No todas las tarjetas permiten configurar el ACKTimeout (Intersil), de manera que el comportamiento de las tarjetas con un ACKTimeout fijo tienen un punto crítico y resulta importante analizar su comportamiento para asegurar la distancia con la que puede funcionar (25 Km al usar el *chipset* Intersil) [15]. Si la distancia es superior a 25Km se sugiere usar las tarjetas Atheros.
- La tecnología “g” resulta prometedora por los resultados obtenidos en el Cusco a pesar de no contar con una menor sensibilidad a la tecnología “g”
- Para este tipo de enlaces el apuntamiento y la sujeción de las antenas resulta de mucha importancia. Resulta importante calcular la potencia de recepción con la que debe contar el enlace, con esto se realiza un apuntamiento que asegure una estabilidad en el enlace.

- **Proyecto para industrias**

- **Minas**

Las empresas mineras, debido a que cuentan con campamentos en zonas rurales aisladas hacen uso de enlaces de larga distancia Wi-Fi. Ya sea en la banda de 5Ghz como en 2.4Ghz. Para este caso se puede mencionar el caso de la empresa Volcan S.A. actualmente ubicada en la ciudad de Cerro de Pasco. Esta empresa cuenta con un campamento en Mamavinchos que se encuentra a dos horas de la ciudad y a 4000msnm. Este campamento permite que los ingenieros y obreros puedan llegar rápido a la zona minera y llevar un control adecuado de las obras. Como solución de telecomunicaciones se optó por usar la tecnología

Wi-Fi para cubrir el enlace de permita unir la red del campamento con la ciudad. Para esto, se tuvo que realizar dos enlaces punto a punto, uno de 24Km y uno corto de menos de 1Km. Debido a que se requería transmitir voz y datos se optó por tener un enlace de 54Mbps en la banda de 5Ghz. A pesar de que la instalación y configuración de equipos es realmente sencilla hay que tomar en cuenta que las zonas rurales presentan dificultades climáticas y de ruta para el acceso al campamento por lo que duró más de lo esperado. A pesar de contar con una condición climática nada favorable, se logró el apuntamiento y un nivel de recepción óptimo para establecer el enlace. Las pruebas realizadas para las transmisiones de voz y datos no presentaron ningún error.

#### ➤ **Agricultura**

Los proyectos en agricultura se basan en redes punto a punto y punto a multipunto con la misma idea que se quieren redes en las minas. La transmisión de voz y datos resulta una necesidad para este tipo de redes. La evolución de este tipo de redes ha llevado a formar distintos proyectos entre los cuales se encuentra el realizado en Chile llamado “Red Wireless Rural Catemu” aprobado por el Ministerio de Agricultura y gestionado por la Universidad de Viña del Mar, la municipalidad de Catemu y CORFO. Para el desarrollo de este proyecto se requirió una inversión de 579 mil dólares americanos [19]. Con este proyecto se pudo crear una comunidad virtual conformada por 680 conexiones, integrando una red Wi-Fi local de comunicaciones. Este enlace permitió contar con un acceso de banda ancha para servicios de voz y datos. Asimismo, este proyecto permitió el desarrollo empresarial, cultural, académico, sanitario y tecnológico. Este proyecto rural conecta 10 empresas exportadoras de frutas incorporando aplicaciones con efectos directos en una producción valorada en 6 millones de dólares. [20] Otro beneficio dado por este



tipo de redes es el desarrollo progresivo de la conectividad y aplicaciones de uso empresarial a todo el sistema productivo de la zona, dando cobertura a una gran cantidad de empresas. En este proyecto participaron Cisco Systems e Interplus y el ministerio destacó los beneficios otorgados por esta red permitiendo que el campesinado pueda contar con aplicaciones para la captura de datos en terreno, elementos para analizar los campos y su gestión agrícola, además de contar con una red de sensores agro-climáticos que permiten planificar de mejor manera la producción.



## Capítulo 4

### *Estudio de impacto caso por caso*

#### 4.1 Impacto a nivel hardware

El desarrollo de esta nueva tecnología está pensado para acoplarse a las tecnologías WiFi legadas. Debido a que por el momento no se han fabricado equipos basados en el *draft 2.0* nos vamos a basar en los resultados de los laboratorios que ha mostrado la revista eweek de España en el mes de Julio del 2006 así como los resultados obtenidos en los laboratorios mostrados por la revista pcworld en Octubre del mismo año. Es impacto varía mucho con las distintas marcas de los distintos productos 802.11pre-n y esto es debido a que existen actualmente distintos tipos de *chips* con distinta tecnología en el mercado. Como se mencionó en los capítulos anteriores, los resultados de los equipos 802.11pre-n no son lo que debería dar esta tecnología en cuanto a cobertura y desempeño pero cabe resaltar que con el transcurrir de los meses las pruebas en los laboratorios muestran una mejora considerable respecto a los resultados obtenidos a inicios de año y esto es gracias a las actualizaciones de *firmware* que dispone cada uno de los equipos pre-n. Considerando estas mejoras se espera que para

cuando se ratifique el estándar a fines del 2008 o inicios del 2009 se lleguen a velocidades de transmisión de 270Mbps y con el tiempo lograr hasta una tasa de 600Mbps propuesta por el estándar [19]. Lo que está sucediendo con 802.11n ya ha ocurrido antes con las tecnologías WiFi, ninguna apareció otorgando su mejor desempeño pero con el transcurrir del tiempo se estabilizaron. Si bien no se requiere su máximo desempeño para que el estándar sea aprobado definitivamente, es necesario que proponga una velocidad y alcance más que suficiente para una transferencia continua de video de alta calidad y servicio de VoIP así como una transferencia de archivos pesados de manera que sea una red inalámbrica de banda ancha. De la misma forma se espera que estas mejoras permitan que la estabilidad en un enlace de larga distancia pueda darse y poder establecer un enlace punto a punto de banda ancha de varios kilómetros. Lo primero que hay que tener en cuenta que es que actualmente existe una avalancha de productos diseñados según el *draft* 1.0 de 802.11n y aunque muchos aseguran que van a poder ser actualizados por medio de *firmware* a la especificación 802.11n final, nada asegura que esto sea así por lo que se concluye que no es asegurada la compatibilidad.

## 4.2 Impacto en la topología

- **Enlaces punto a punto**

Luego de ver las propiedades que puede otorgar Wi-Fi como una solución para enlaces de larga distancia, se puede decir que la tecnología 802.11n va a utilizarse así como sucedió con la tecnología “g” y “b”. El impacto directo va a darse al permitir enlaces de gran ancho de banda otorgando un mínimo de tasa de transmisión de 100Mbps. Al contar con la tecnología MIMO y antenas inteligentes no se espera que el enlace “n” tenga el mismo desempeño conforme la distancia aumente. Se espera que las distancias sean más cortas que las que se logran con

“b” pero con un mayor ancho de banda. Esto va a significar un cambio y una propuesta para poder acceso a servicios que requieran un gran ancho de banda y va a resultar interesante debido a que Wi-Fi va a poder ser una posibilidad de acceso de bajo coste para aplicaciones que requieran un gran ancho de banda. Es importante tomar en cuenta la iniciativa que se tuvo en el desarrollo del *draft* 2.0 al otorgar una prioridad para de esta forma asegurar una QoS para aplicaciones de voz y video que se tendría que poner a prueba con los equipos comerciales para ver el nivel de QoS ofrecido.

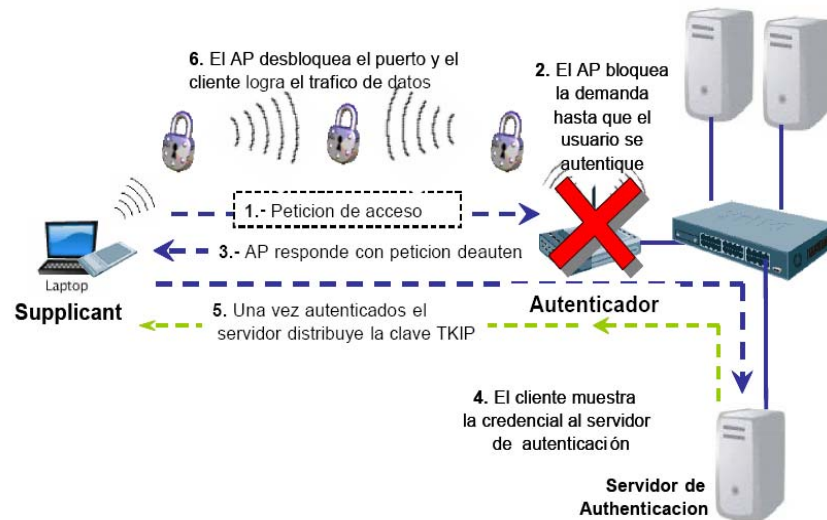
- **Enlaces punto a multipunto**

La tecnología “n” no va a impactar de forma contundente para este tipo de enlaces, si bien se gana ancho de banda se debe tomar en cuenta si para este caso va a ser necesario contar con tanto ancho de banda. Mucho va a depender del propósito del enlace pero no va a generar un mayor impacto. Al igual que las tecnologías legadas 802.11n va a presentar las mismas posibilidades de error que tienen las tecnologías legadas para este escenario. El hecho de considerar un canal libre puede afectar en el número de colisiones generadas por las estaciones vecinas. Tanto para las redes PtP y PtMP va a ser requisito que se pueda configurar los ACK.

### 4.3 Impacto en seguridad

La seguridad en redes inalámbricas es hoy en día un aspecto considerado primordial en una red empresarial. Actualmente existen muchos protocolos de autenticación que permiten que el usuario sea validado antes de que pueda tener un acceso a la red. Los primeros medios de seguridad usan al AP para autenticar pero con el tiempo se ha determinado que este tipo de seguridad no es conveniente ya que es fácil engañar al AP. Para esto existen otras alternativas de seguridad que usan un servidor de autenticación. La seguridad avanzada en WiFi está

dada por el protocolo WPA2. WPA fue aprobado desde Noviembre del 2002 y rápidamente reemplazó al algoritmo WEP ya que introdujo el método de autenticación, WPA usa el protocolo de integridad de clave temporal TKIP implementa el estándar 802.1x y el protocolo de autenticación extensible EAP de manera que en conjunto se tiene una autenticación central a un servidor que puede ser RADIUS [3]. WPA2 nace con la idea de tener un soporte a la seguridad adicional que indica el protocolo 802.11i y que no es soportada por el protocolo WPA. WPA2 al igual que WPA opera en el modo empresarial o personal. Este tipo de seguridad avanzada en redes inalámbricas es necesaria en redes 802.11n para tener un mejor desempeño. El nivel de autenticación con un servidor RADIUS es importante para redes empresariales. Las redes que no cuenten con WPA2 no van a tener el mismo desempeño que las que sí lo posean. Cuando un cliente se autentique usando 802.1x hay una serie de mensajes que se envían entre el cliente y el AP o *router* para intercambiar las llaves de acceso. Esto ocasiona mucho retardo en el proceso de conexión. En el caso de tener una empresa grande como puede ser un edificio, se va a tener que hacer un *roaming* entre los AP o *routers* de la red y eso ocasionaría que existan interrupciones en la conectividad sobre todo en el caso de transmisión de voz o video. Para minimizar este retardo asociado al *roaming* WPA2 soporta PMK (*Pairwise Master Key*) y una pre-autenticación de manera que se guarde la autenticación previa que un equipo haya realizado. En la siguiente figura se muestra el modo de operación de WPA2 y como es que la autenticación de usuario válido se hace directamente con un servidor que puede ser RADIUS, según sea el nivel de seguridad requerido para la red.



Fuente: Seguridad en Redes Avanzadas  
Especialidad Telecomunicaciones Página 6

Figura 21. Seguridad WPA2 con servidor de autenticación [3]

El nivel de seguridad de WPA2 va a ser requerido en las redes 802.11n es por esto que las mejoras de los adaptadores va a ser necesaria. Gracias al gran ancho de banda prometido por 802.11n va a ser necesario que la autenticación de seguridad sea óptima de manera que los servicios de videoconferencia ó VoIP no sufran interrupciones. En conclusión 802.11n no va a requerir un nuevo sistema de protección y va a mantener la seguridad WPA2 que mantienen las tecnologías legadas. Las redes futuras 802.11n van a basar su protección a partir de la configuración del servidor RADIUS según el nivel de seguridad requerido.

#### 4.4 Impacto Tecnológico

Actualmente se están viviendo muchos cambios en las telecomunicaciones para lograr redes de banda ancha y se espera que en unos años exista una guerra de normas debido a que muchas otras formas de acceso al usuario están apareciendo y van a competir unas con otras de manera que al final destaque una sobre las demás. Por otro lado existen tecnologías complementarias las cuales no van a ser

afectadas por la aparición de estas nuevas tecnologías sino que van a coexistir entre ellas. En el caso de la tecnología 802.11n tenemos que considerar su aplicación tanto para redes de área local como para enlaces punto a punto de larga distancia, como solución económica para realizar un enlace de banda ancha. Si tomamos el caso específico de su aplicación para redes de área local podemos decir que esta tecnología va a convivir con WiMAX. Como se mencionó en los capítulos anteriores, WiMAX nace como solución para larga distancia por lo que WiFi en su modo de operación normal no va a tener su alcance, por otro lado WiMAX tampoco tiene la movilidad y penetración que tiene WiFi es por esto que son tecnologías complementarias, con objetivos distintos. A esto podemos mencionar que actualmente, en el grupo EHAS, nos encontramos estudiando la posibilidad de tener una solución WiFi 802.11n para enlaces punto a punto y punto multipunto. Actualmente ya existen enlaces basados en tecnologías 802.11b/g con resultados muy buenos en cuanto a cobertura y tasa de transferencia. Si bien el *throughput* no es el que se tiene en una red de área local, se tienen soluciones de bajo coste especialmente para zonas no urbanas. Una vez que 802.11n esté aprobado, se realizarán pruebas de largo alcance y esto permitiría que compitiese directamente con WiMAX. Como se mencionó en el capítulo 3, teóricamente los enlaces 802.11n punto a punto son posibles y se espera que para cuando se ratifique la tecnología se puedan realizar enlaces punto a punto de largo alcance. Si bien esto es ocupar el mercado WiMAX hay que tomar en cuenta que estas soluciones de banda ancha para larga distancia con WiFi está pensado para ser una solución de bajo coste que pueda ser útil en zonas no urbanas, donde el acceso al servicio es difícil. Si el desempeño de 802.11n servirá para enlaces punto a punto de bajo coste u ocupe parte del mercado WiMAX gracias a su costo, solo el tiempo lo dirá. Hay que tomar en cuenta que no va a ser una competencia directa debido a que el *throughput*

y robustez de WiFi 802.11n para enlaces de larga distancia no va a ser el mismo que en una red de área local. Se piensa encontrar muchos problemas para lograr el enlace punto a punto óptimo que aproveche toda la capacidad de esta tecnología pero se espera lograrlo con el tiempo. Probar esto con equipos que se basan en un borrador puede hacer que se lleguen a conclusiones que no son ciertas. Actualmente se tienen equipos basados en el *draft* 1.0 y los equipos basados en el *draft* 2.0 el cual ya fue aprobado recién van a circular a mediados del 2007. Como se demostró en el capítulo anterior, la teoría no impide el desarrollo de 802.11n en larga distancia pero intentarlo ahora con equipos pre-n realmente podría llevar a conclusiones erradas. A continuación se muestra un escenario el cual se piensa va a permitir la coexistencia de 802.11n con WiMax.

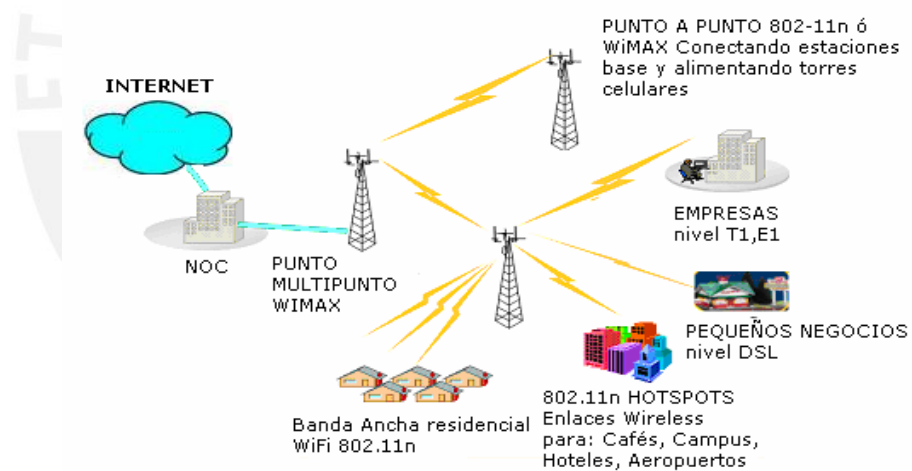


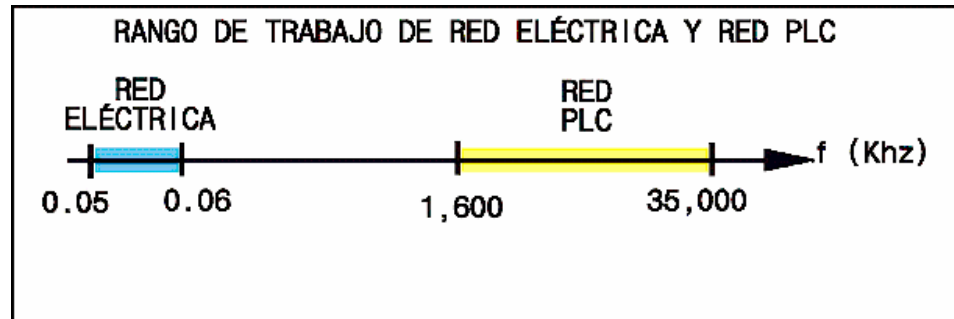
Figura 22. Interoperabilidad WiFi 802.11n WiMAX [10]

Tenemos claro que la tecnología WiMax nace como solución de larga distancia y queda claro también que 802.11n no va a reemplazar WiMax. WiMax es una tecnología que requiere mucha inversión y se va a desarrollar en el Perú en las zonas con mayor densidad poblacional dejando de lado muchas regiones del Perú. Por el contrario 802.11n puede ser una solución alternativa para cubrir estas zonas que no cuentan con una densidad poblacional como para generar los ingresos



que otras zonas si lo permiten. Si consideramos el impacto tecnológico, podemos decir que para cuando 802.11n entre al mercado como estándar ratificado, va a competir directamente con las redes cableadas. Esta tecnología pretende lograr tasas de transmisión superiores a la de las redes cableadas e inclusive van a existir *routers* con puertos Gigabit Ethernet como es el caso del equipo NetGear WNR854T. [10] Se sabe que la tecnología actualmente está dirigida a redes inalámbricas y que va a entrar a competir sobre todo por la novedad de acoplar métodos que actualmente se usan en redes de banda ancha cableadas, como agregación y *bursting* para lograr estos enlaces WiFi de más de 500Mbps y así mismo 802.11n para redes de área local va a competir directamente con las tecnologías basadas en MIMO aunque está demás decir que 802.11n va a reemplazar a estos equipos casi inmediatamente debido a que los equipos MIMO sólo operan entre ellos y con los legados a velocidades muy inferiores. Así mismo, cada vez que se realizan pruebas con los equipos pre-n las ventajas de los equipos MIMO se acortan en cobertura y *throughput* a pesar de sólo ser equipos basados en un *draft*. Es por estos motivos que es fácil concluir que 802.11n reemplazará a estos equipos apenas lance sus primeros productos al mercado. Si tomamos en cuenta tecnologías cableadas podemos decir que la tecnología PLC (*Power Line Communications*) va a competir directamente con 802.11n para redes de área local. Las redes que utilizan la línea de conducción eléctrica van a entrar al mercado en un futuro para competir con las tecnologías inalámbricas. Esta tecnología usa los cables eléctricos de baja tensión y *módems* especiales en los *sockets* eléctricos dentro de las residencias, y fibra o DSL como enlaces desde las subestaciones eléctricas. Usa el rango de 1.6Mhz a 35Mhz. Es de esperarse que compita con WiFi debido a que ofrece un *throughput* superior a 100Mpbs y al utilizar el medio cableado, no va a ser costosa su instalación. Actualmente tiene problemas con la normalización, por lo que va a demorar un tiempo para poder ver los

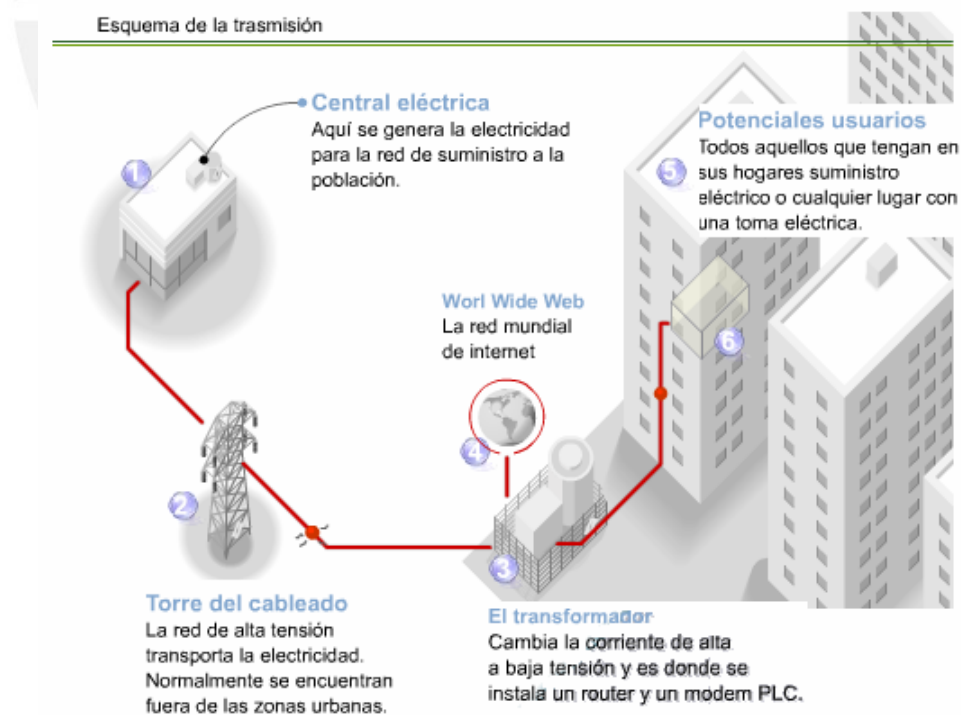
resultados. Lo único que esta tecnología tiene establecido es su espectro y la QoS.



Fuente: II Seminario Internacional de Telecomunicaciones

Figura 23. Banda PLC [13]

PLC es una tecnología que recién esta apareciendo, actualmente se esta simulando una red en España. Aunque es una tecnología novedosa, tiene muchos problemas como la interferencia que debe solucionar antes de ingresar como un nuevo medio de acceso.



Fuente: <http://www.elmundo.es>

Figura 24. Conexión por la red eléctrica [13]

En el mundo de las telecomunicaciones, se están dando aplicaciones que requieren cada vez de un mayor ancho de banda. Como se sabe, el tema de la convergencia es algo que se espera en un futuro no muy lejano. Actualmente las redes cableadas son las que permiten la convergencia de voz, datos y video. Existen múltiples aplicaciones como Triple Play que permite la convergencia de TV, Internet y teléfono a la vez haciendo uso de redes cableadas (ADSL) pero el problema que se tiene con las redes inalámbricas no es en sí el ancho de banda requerido sino la estabilidad que se pierde a medida que la cobertura requerida crece. En una red de área local no deben existir espacios sin cobertura y el *throughput* debe ser estable. Gracias a 802.11n es que se va a poder contar con Wireless Triple Play debido a que asegura una cobertura y tasa de transferencia suficiente para que el acceso sea desde cualquier punto. Finalmente la convergencia de tecnologías exige día a día un mayor ancho de banda para el acceso a múltiples aplicaciones y 802.11n va a ser un medio de acceso para este propósito.

#### 4.5 Impacto Económico

Las redes inalámbricas de banda ancha no van a requerir mucha inversión si nos referimos específicamente a redes de área local. Si consideramos como escenario una empresa, edificios grandes, hoteles ó universidades. La inversión para realizar la red va a disminuir considerablemente teniendo en cuenta la cobertura y la estabilidad de la tasa de transferencia con que cuenta 802.11n. Las tecnologías legadas daban muy malos resultados en cuanto a cobertura se refiere, originando que existan puntos muertos en los que el usuario móvil perdía conexión. Estas deficiencias hacen que en este tipo de escenarios se cuenten con múltiples *routers* inalámbricos de 50 a 100 dólares sin contar con algunas antenas direccionales colocadas en pasillos largos que muchas veces no permite que equipos portátiles se conecten

debido al efecto de los rebotes e interferencias. Así mismo, en lugares como jardines no se cuenta con la cobertura debido a que la potencia de la señal y la sensibilidad de los receptores no permiten una cobertura amplia. Es por esto que es frecuente el uso de antenas omni-direccionales en lugares como cafés y hoteles. A continuación se muestra un escenario común para 802.11.

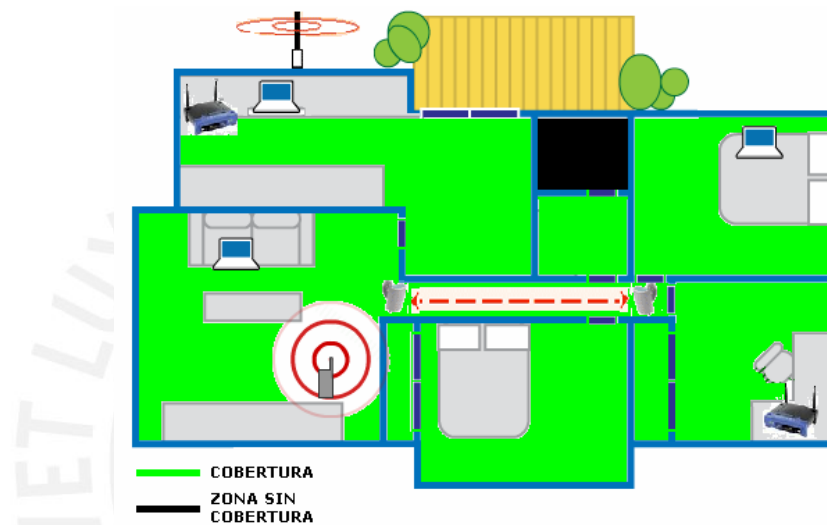


Figura 25. Escenario 802.11 [11]

Si consideramos esto, tendríamos que sumar el costo de antenas direccionales que podrían ser de \$50 para ya que es un tramo no muy largo y una antena omni-direccional cuyo precio va a depender de la distancia y de la altura con la que se cuente podría utilizarse una de \$50 a \$100 [9]. Si tomamos en cuenta que en estos lugares se cuenta con más de un *router* para lograr la cobertura deseada es fácil concluir que el costo de estas redes es elevado. Es debido a estas razones que esta nueva tecnología 802.11n es una solución como red de área local. Tenemos una gran cobertura, señales con más potencia y un *throughput* estable en todo el radio de cobertura. Si consideramos los precios actuales de los *routers* 802.11pre-n cerca de \$130 dólares [12] nos podemos dar cuenta que el costo en las redes futuras va a caer en gran medida gracias a esta nueva tecnología de acceso. Hay que considerar

que en el caso de contar equipos que no van a ser compatibles con el estándar se van a tener actualizar los adaptadores de tal forma que puedan operar con estos sin mayor problema. De manera que ahora sólo será necesario un *router* para lograr lo que antes se lograba con antenas exteriores. Las interferencias causadas por equipos no van a afectar a la señal 802.11n a diferencia de 802.11b/g que sí tenía que tomar en cuenta estas interferencias ya que atenuaban la señal transmitida.

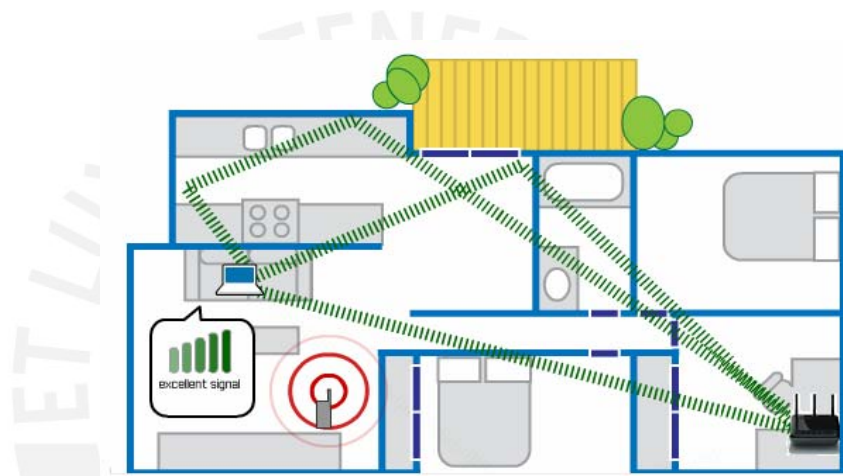


Figura 26. Escenario 802.11n [11]

La inversión para una red WiFi 802.11n no va a ser mucha. Es necesario como ya se mencionó actualizar los adaptadores. Así mismo se va a tener que invertir en los equipos 802.11n y un servidor RADIUS que no requiere hardware especial. Por otro lado, los beneficios van a ser muchos si tomamos en cuenta la cobertura que estos equipos van a tener. Si tomamos como referencia que 802.11n va a tener 4 veces la cobertura de los equipos legados, se puede decir que el ahorro en la inversión de equipos va a ser considerable. Como se mencionó anteriormente, las redes actuales se encuentran en un proceso de convergencia y es debido a esto que las redes actuales buscan ser de banda ancha. Si bien se tiene como solución a las redes cableadas e inclusive para enlaces de larga distancia ya se cuenta con WiMAX no se

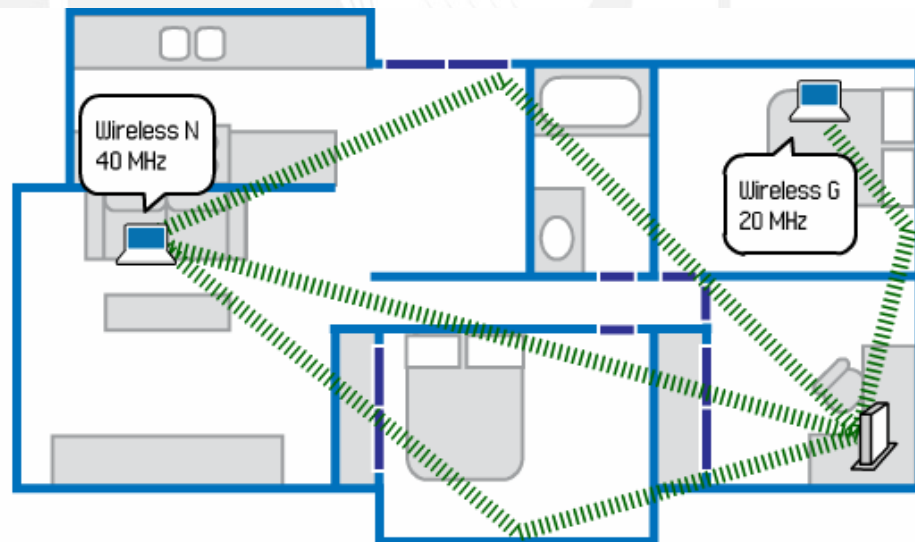
cuenta con una solución para redes de área local ya que ninguna tecnología cuenta con la penetración que tiene 802.11n. Es debido a esto que esta tecnología va a permitir que estas aplicaciones de voz, datos y video que se desarrollen con normalidad en escenarios grandes. En el caso de enlaces de larga distancia, la diferencia de inversión no va a variar mucho respecto a un enlace 802.11g, las ventajas obtenidas van a ser en ancho de banda y cobertura pero la arquitectura va a ser la misma teniendo en cuenta que las aplicaciones van a ser las mismas pero con la posibilidad de integrar múltiples aplicaciones como video para aprovechar el ancho de banda ofrecido.

#### 4.6 Impacto en Áreas Urbanas

El último *draft* ratificado en marzo del 2007 indica que la tecnología 802.11n no es revolucionaria sino que pretende acomodarse a las topologías anteriores para que no exista un gran impacto sino que sea sencillo de adecuarse a las redes modernas. Hasta el momento, los fabricantes de equipos 802.11pre-n están cumpliendo con este requisito pero los resultados no son los mismos. A inicios de Agosto del 2006 se publicaron los resultados de *routers* y *PC Card* como Belkin N1, Buffalo AirStation Nfiniti, Linksys Wireless-N y Netgear RangeMax Next todos basados en el *draft* 1.0 mostrando mejoras respecto de los resultados tomados a inicios de año. Por otro lado hay que tomar en cuenta que estos equipos por el momento están siendo superados por dos equipos (NetGear RangeMax 240 y Asus 240 MIMO Wireless) basados en la tecnología MIMO pero que nunca podrán ser compatibles con 802.11n, es decir, nunca podrán lograr las tasas de transferencia que propone 802.11n. Por otro lado, si en su red se tienen equipos legados, sólo se va a poder operar a la velocidad promedio para un equipo legado, en el caso de tener en la red MIMO con un equipo 802.11g la tasa de transferencia de la red será como máximo de 54Mbps.

Si se quiere tener una medida del impacto que se tendrá sobre los equipos legados hay que tomar en cuenta que todos los equipos de las redes futuras deben ser compatibles entre sí. Aunque todos los fabricantes afirman la compatibilidad y mismo desempeño con equipos legados esto no es tan cierto. Actualmente en el mercado existen los *chipset* Atheros y Broadcom por lo que uno se puede dar cuenta de forma inmediata que los resultados para una red que utilice *chipsets* de distintos fabricantes no va a ser la misma que si fueran de la misma marca y los resultados de los laboratorios lo corroboran. Esto significa que si se quiere tener una red 802.11pre-n se debe tomar en cuenta el fabricante del *chipset* para de esta manera lograr que el desempeño sea el óptimo. Muchas veces las empresas suelen utilizar equipos de la misma marca para que no existan problemas de compatibilidad pero ocurre que empresas venden equipos con *chipset* de distintos fabricantes. Por ejemplo NetGear produce *routers* y *PC Cards* de nombres similares que utilizan distintos *chipset* para 802.11pre-n y la única forma de darse cuenta de esto es verificando el número de modelo o el logotipo del *chipset*. Este es un inconveniente que se debe tomar en cuenta si se desea tener una red 802.11pre-n. En el caso de la tecnología 802.11n no va a tener estos problemas debido a que cuenta con la certificación de WiFi-Alliance en cuanto a interoperabilidad se refiere. El tema de la compatibilidad con los equipos legados fue el tema principal al discutir la aprobación del *draft* 2.0 en marzo del 2007, llegando a la conclusión que la interoperabilidad es necesaria. En los próximos meses se va a comprobar la interoperabilidad de los equipos 802.11pre-n en la banda de 2.4Ghz. En cuanto a las características técnicas 802.11n tiene el propósito de trabajar tanto en la banda de 2.4Ghz como en la banda de 5Ghz. La idea, como se mencionó en el segundo capítulo es aprovechar la ventaja de usar canales de 40Mhz en la banda de 5Ghz debido a que la banda de 2.4 no te permite usar canales mayores de 20Mhz. Es por esto que se dice que esta tecnología debe poder operar en ambas

bandas y con esto tener un desempeño sobre redes legadas sin realizar mayor modificación. Por otro lado, a inicios de este año se ha conversado sobre la posibilidad de usar canales de 40Mhz en la banda de 2.4Ghz, esto se esta debatiendo en la IEEE debido a la interferencia que puede ocasionar con las tecnologías legadas, pero aún sigue en discusión. Por el momento existen equipos basados en el *draft* 1.0 operando a 2.4Ghz aunque se espera que para el próximo año ya existan equipos que operen en ambas bandas. En cuanto a la distancia, se sabe que los equipos basados en el *draft* 1.0 otorgan una gran ventaja pero aún así no es suficiente. Los resultados tomados en oficinas muestran un enlace con una cobertura de 20m con una pequeña disminución de la tasa de transferencia pero esto varía según sea el fabricante. Como se mencionó anteriormente, cada fabricante busca mejorar ya sea la eficiencia o cobertura pero es difícil encontrar un equipo que destaque por sobre los demás



Fuente: <http://www.netgear.com>

Figura 27. Compatibilidad de los equipos 802.11pre-n con 802.11b [10]

Como un primer impacto podemos entonces decir que se necesita una actualización de los adaptadores en cuanto a equipos legados se refiere de forma tal que se puedan obtener los beneficios de 802.11n. Si se desea tener una red con estos equipos 802.11pre-n va a ser necesario



que todos los equipos de su red cuenten con *chipssets* del mismo fabricante para que el desempeño sea el deseado. Pero no hay que olvidar que esta tecnología nace con la idea de operar con los equipos legados y es considerado por todos los fabricantes de equipos pre-n. Aunque como no existe una norma única cada uno realiza variantes que obliga al usuario a verificar que el *chipset*. En cuanto a la actualización de los adaptadores si va a ser un cambio necesario si se quiere que el desempeño de 802.11n en las redes futuras sea el óptimo. Asimismo, se puede decir que 802.11n va a afectar a los equipos móviles que no poseen mucha potencia como los PDA [12]. Estos equipos han sido fabricados con la idea de otorgar un acceso rápido al usuario a costa de tener un *throughput* relativamente bajo. La idea de tener una tasa de transferencia baja es debido a que estos equipos son móviles y estos requieren un ahorro de energía considerable, por lo que es seguro que no logrará la potencia de 802.11n ni el *throughput* del mismo. Por otro lado, se tiene que hacer mención que 802.11n es una tecnología va a operar tanto en la banda de 2.4Ghz como 5Ghz. Actualmente los equipos basados en el *draft* 1.0 operan en la banda de 2.4Ghz sin problemas porque estos equipos hacen uso de los canales de 20Mhz por lo que no se logran las tasas altas propuestas por el estándar 802.11n y solo operan con canales de 20Mhz porque en esta banda los canales son de 20Mhz y solo se cuentan con los canales 1, 6 y 11 para no tener interferencias. Resultaba imposible pensar que se puedan utilizar los canales de 40Mhz en la banda de 2.4Ghz debido a que esta banda ya se encuentra ocupada con sólo 3 canales libres pero a pesar de esto la IEEE se encuentra debatiendo la posibilidad de lograrlo y en el caso de que se encuentren equipos que utilicen los canales de 40Mhz en la banda de 2.4Ghz no van a tener el desempeño que se asegura en el estándar por la interferencia. [18] Para cuando el estándar se encuentre listo, se va a poder contar con equipos que operen en ambas bandas y de esta manera contar con una flexibilidad para manejar enlaces con

distintos *throughput* según sea requerido por el administrador de la red. Los canales de 40Mhz estarán asociados a los enlaces con mayores tasas de transferencia y los que usen canales de 20Mhz asociados con tasas de transferencia menores que las otras pero superiores a 100Mbps. Como conclusión se puede decir que estas redes no van a afectar a los equipos legados por lo que no va a ser un cambio brusco sino que se va a acoplar la tecnología b/g que se encuentre en el área. Asimismo, se puede concluir la reducción de nodos al contar con una cobertura superior a la anterior donde las antenas van a permitir cubrir un espacio muy superior al de las tecnologías legadas. El ancho de banda incrementado va a permitir que se aumente la cantidad de usuarios conectados y el uso simultaneo que permite este ancho de banda otorgado por la tecnología “n”. Esta tecnología puede formar un *backhaul* gracias al ancho de banda con el que cuenta.

#### 4.7 Impacto en Áreas Rurales

Para mencionar el impacto que esta nueva tecnología se deben considerar las aplicaciones que se realizan para estos escenarios y las condiciones ya mencionadas para este tipo de enlaces. En primer lugar los equipos comerciales 802.11pre-n basado en el *draft* 1.0 no permiten la configuración de las tarjetas por lo que quedaría pendiente las pruebas con estos equipos, pero no resulta difícil sacar algunas conclusiones para los enlaces que se realizarían en un futuro cercano.

- Proyectos en enlaces satelitales

Debido a que estos enlaces cuentan con mucho retardo, no se aprovecharía la alta tasa de transmisión ofrecida por esta tecnología. Siendo esta la principal característica de la solución 802.11n, un enlace Wi-Fi 802.11n con un enlace satelital queda descartado. Estos enlaces

no requieren un ancho de banda como el ofrecido por la tecnología “n” y sería poco conveniente implementar 802.11n para este tipo de enlaces

- **Proyectos en enlaces de microondas**

Estos enlaces son los que más se van a ver influenciados con la tecnología “n”. Como ya ha sido mencionado, 802.11n va a incrementar notablemente la tasa de transferencia permitiendo la transmisión de aplicaciones que requieran un gran ancho de banda. Con esto se va a contar con un acceso de gran ancho de banda. El impacto se va a dar principalmente en un escenario WMAN las características de 802.11n cubre con las características para poder formar un *backhaul*.

- **Proyectos en enlaces para acceso a Internet**

En este caso 802.11n va tener una influencia considerable permitiendo un incremento considerable para el número de usuarios. Los proyectos realizados con las tecnologías legadas han sido suficientes debido a la cantidad de usuarios de la zona. Otro punto que se debe tomar en cuenta es la capacidad que el proveedor otorga. 802.11n va a permitir una mejor distribución de acceso a Internet pero no va necesariamente a mejorar la calidad de conexión para los usuarios finales. Al contar con un acceso de banda ancha se va a motivar el desarrollo de aplicaciones que la requieran debido a que puede servir como medio de acceso tanto en zonas urbanas como en zonas rurales sin mayor problema.

#### 4.8 Impacto de las redes 802.11n en el Perú

- El incremento que ofrece 802.11n en su ancho de banda no va a exigir un incremento de recursos debido a que actualmente se cuentan con enlaces de 1Giga (ADSL y Ethernet), lo cual sería suficiente para cubrir los enlaces que se puedan realizar con 802.11n. En el caso de los enlaces satelitales queda descartado el uso de 802.11n por los

motivos ya mencionados anteriormente a menos que en un futuro se logre incrementar los recursos que limitan a estos enlaces.

- La tecnología 802.11n no va a requerir de una nueva infraestructura, esta tecnología ha sido propuesta para adaptarse a las redes actuales de manera que se pueda acoplar a las otras tecnologías sin generar cambios en las redes actuales. La integración de la tecnología “n” con las tecnologías legadas permite mantener las infraestructuras anteriores y esto es un requisito que Wi-Fi Alliance sostiene para el lanzamiento de la tecnología 802.11n.
- 802.11n es una tecnología que va a permitir la convivencia con otras tecnologías. Primero se debe tomar en cuenta que 802.11n se basa en la compatibilidad con equipos legados, esto permite que las redes modernas integren estos nuevos equipos sin tener que cambiar las tecnologías existentes. Por otro lado, 802.11n nace con la idea de ser un medio de acceso de banda ancha para el usuario final. Con esto queremos resaltar que 802.11n va a convivir con tecnologías como WiMax para lograr la convergencia de aplicaciones, lo cual es la tendencia en las redes futuras.

#### 4.9 Conclusiones

- **Convergencia de tecnologías**

La evolución de las tecnologías nos lleva sin duda alguna a una convergencia de tecnologías, la cual permitirá que el acceso a múltiples aplicaciones desde un mismo equipo sea posible. Para esto, es importante resaltar que 802.11n es una tecnología que no sólo promete mucho con su tasa de transferencia efectiva, sino también con su cobertura. Gracias a esto, va a ser posible que 802.11n pueda ser utilizado como medio de acceso de banda ancha y de esta forma que sea posible la convergencia de tecnologías en corta distancia.

- **Wi-Fi 802.11n como solución de larga distancia**

Luego del estudio realizado en la tesis se puede concluir que es factible el uso de Wi-Fi 802.11n como solución para un enlace punto a punto de larga distancia y de bajo coste. Resulta importante resaltar el hecho que esta tecnología reduce potencialmente su cobertura para enlaces punto-multipunto por lo que sus aplicaciones no serían en escenarios donde la distancia fuese

- **Parámetros a considerar al establecer el enlace**

No suelen darse en zonas no urbanas aisladas. Esto suele ocurrir cuando se quiere realizar un enlace entre una zona rural aislada con una zona urbana.

- **Principal limitante al establecer la distancia**

No suelen darse en zonas no urbanas aisladas. Esto suele ocurrir cuando se quiere realizar un enlace entre una zona rural aislada con una zona urbana.

- **Wi-Fi 802.11n y la convivencia con WiMax**

No suelen darse en zonas no urbanas aisladas. Esto suele ocurrir cuando se quiere realizar un enlace entre una zona rural aislada con una zona urbana.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Estándares y Certificaciones WI-FI  
Wireless LAN – Fundamentos Teóricos URL:  
<http://main.wi-fi.org/membersonly/getfile.asp>  
Información de contacto:  
<http://www.wi-fi.org/contact.php>  
Consultado el 10 de Junio del 2006 a las 13:40 Sección:  
Estándares 802.11
2. Página Wikipedia  
Descripción del estándar 802.11 URL:  
[http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE\\_802.11](http://es.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11)  
Información de contacto:  
[board@wikimedia.org](mailto:board@wikimedia.org)  
Consultado el 8 de Junio del 2006 a las 23:50 Sección: Estándar  
802.11: Protocolos
3. Página de la IEEE Estándares  
IEEE Wireless Standard Zone URL:  
<http://www.standards.ieee.org/wireless>  
Información de contacto:  
[onlineproducts@ieee.org](mailto:onlineproducts@ieee.org)  
Consultado el 2 de Julio del 2006 a las 22:05 Sección:  
Local and Metropolitan Area Networks + Drafts (LAN/MAN 802s)  
Standards Subscription
4. Mobile Computing Definitions  
HiperLan URL:  
<http://searchmobilecomputing.bitpipe.com/rlist/term/802.11.html>  
Información de contacto:  
[webmaster@techtarget.com](mailto:webmaster@techtarget.com)  
Consultado el 5 de Julio del 2006 a las 15:00 Sección:  
802.11 White Paper  
WI-FI White Paper  
Wireless LAN White Paper.
5. Diario la Fecha Ciencia y Tecnología  
Autor: José Manuel Jimeno. Fecha de publicación: 22 Noviembre del  
2005. Título:  
Tendencias para el año 2006-WiMAX, Diario la Fecha 2006  
Consultado el 10 de Julio del 2006 a las 12:00 Sección:  
WiMAX, duro competidor del cable y del ADSL

6. Página EMAX en el Perú  
Internet Inalámbrico de Banda Ancha,  
EMAX URL:  
<http://www.emax.com.pe>  
Información de contacto:  
<http://www.emax.com.pe/contactenos/index.php>  
Teléfono: 705-9898  
Consultado el 15 de Julio del 2006 a las 17:00 Sección:  
EMAX: ¿Cómo funciona?
7. Página eWeek de España  
La promesa del protocolo 802.11n  
eWeek URL:  
<http://www.itweek.es/laboratorio/article.aspx?id=100301>  
Información de revistas para España  
<http://www.itweek.es/servicios/newsletter.aspx>  
Consultado el 25 de Agosto del 2006 a las 19:30 Selección:  
eWeek: Laboratorio eWeek
8. Final Draft 802.11n Segunda Edición  
Autor Mathew S. Gast. Fecha de publicación: Marzo del 2006.  
Título: 802.11 Wireless Networks the Definitive Guide  
Capítulo 15. Consultado el 10 de Agosto del 2006 a las 10:00 Sección:  
A Peek Ahead at 802.11n  
MIMO-OFDM.
9. Productos Linksys 802.11n  
Linksys Wireless-N Broadband Router (WRT300N)  
Linksys URL:  
[http://www.linksys.com/servlet/Satellite?c=L\\_Content\\_C1&childpage=US%2FLayout&cid=1115417027773&pagename=Linksys%2FCommon%2FVisitorWrapper](http://www.linksys.com/servlet/Satellite?c=L_Content_C1&childpage=US%2FLayout&cid=1115417027773&pagename=Linksys%2FCommon%2FVisitorWrapper)  
Información de contacto:  
[http://linksys.custhelp.com/cgi-bin/linksys.cfg/php/enduser/ask.php?picf\\_3=1](http://linksys.custhelp.com/cgi-bin/linksys.cfg/php/enduser/ask.php?picf_3=1)  
Consultado el 23 de Agosto del 2006 a las 23:00 Sección:  
Linksys: Products
10. Novedades y Reflexiones sobre la tecnología WiFi, Mesh y WiMax  
Más razones por la cual WiFi y WiMax coexisten a la perfección  
Linksys URL:  
[http://www.redesmalladas.com/archives/05-01-2006\\_05-31-2006.html](http://www.redesmalladas.com/archives/05-01-2006_05-31-2006.html)  
Información de contacto:  
[wifi@wifinetnews.com](mailto:wifi@wifinetnews.com)

Publicado: Mayo 28 2006  
Consultado el 29 de Agosto del 2006 a las 20:00 Sección:  
Redes WiFi

11. Página eWeek  
eWeek Laboratories Draft 802.11n Test Methodology  
eWeek URL:  
<http://www.eweek.com/article2/0,1895,1992218,00.asp>  
Consultado el 10 de Septiembre del 2006 a las 14:00 Selección:  
Mobile & Wireless-Analysis
12. Página de Airgo  
Wireless Without Limits  
eWeek URL:  
<http://www.airgonetworks.com/mimo/impact/>  
Consultado el 13 de Septiembre del 2006 a las 23:00 Selección:  
The MIMO Impact
13. 802.11 Standard and Related Work  
Autor Jack Y. B. Lee Fecha de publicación: Julio del 2000.  
Título: A TCP-Like Adaptive connection window scheme for WLAN  
Consultado el 10 de Septiembre del 2006 a las 15:00 Sección:  
Description of MIMILD Algorithm
14. Wireless Technologies  
Autor Jeffrey M. Gilbert. Lee Fecha de publicación: Enero del 2006.  
Título: MIMO Technology for Advanced WLAN  
Consultado el 11 de Septiembre del 2006 a las 23:00 Sección:  
MIMO Scalability
15. Tesis de la Universidad Técnica Superior en Ingenieros de  
Telecomunicación  
Autor: D. Pablo Osuna García. Lee  
Fecha de publicación: Madrid Julio del 2006  
Título: Redes Mesh, WiFi de bajo coste  
Consultado el 11 de Septiembre del 2006 a las 23:00 Sección:  
El estándar 802.11: Capa PHY, MAC, Arquitectura MESH  
Aplicación de 802.11 a escenarios de larga distancia
16. Wireless Networking  
Autor: Becky Waring/Elliot Kirshchiling Fecha de publicación:  
Octubre 3 2006  
Título: The Truth About Superfast WiFi  
Consultado el 6 de Octubre del 2006 a las 22:00 Sección:  
Draft n: An early an incomplete Standard



17. Wi-Fi Certified 802.11n draft 2.0  
Autor WiFi Alliance. Fecha de publicación: Mayo del 2007.  
Título: Taking Wi-Fi to the Next Level.  
Consultado el 13 de Mayo del 2007 a las 20:00 Sección:  
Where Does Wi-Fi certified 802.11n Get Its Superpowers?
18. Wi-Fi Certified 802.11n draft 2.0  
Autor Wifi Alliance. Fecha de publicación: Mayo del 2007.  
Título: Longer-Range, Faster-Throughput, Multimedia-Grade Wi-Fi  
Networks.  
Consultado el 15 de Mayo del 2007 a las 23:00 Sección:  
Wi-Fi Alliance Certification Testing Approach
19. IEEE 802.11 de larga distancia  
Autor Albaro Rendón Gallón. Fecha de publicación: Mayo del 2006.  
Título: Implementación de IEEE 802.11 en enlaces largos para zonas  
rurales  
Consultado el 18 de Octubre del 2007 a las 20:00 Sección:  
Telecomunicaciones.
20. WiFi en zonas rurales  
Autor: Tani Ramdohr. Fecha de publicación: Diciembre del 2006.  
Título: Wi-Fi y un mundo rural: Una pareja no tan dispareja  
Consultado el 20 de Octubre del 2007 a las 20:00 Sección: Tecnología
21. Replanteo repetidor MTC  
Autor: Victor Arturo Laos Meza: Agosto del 2007.  
Título: Instalacion de repetidor MTC- Sector 3  
Consultado el 23 de Octubre del 2007 a las 9:00 Sección: Móviles