

Resumen

En este artículo se presenta un resumen del estudio realizado sobre las principales tecnologías inalámbricas para la transmisión de información, teniendo en cuenta las características que definen la mejor opción adaptada como una solución de interconexión de los servicios de telemedicina entre unidades médicas. También se realiza una comparación cuantitativa y cualitativa de las principales características de las tecnologías inalámbricas y se muestra una descripción más detallada sobre la tecnología definida como la mejor opción.

Palabras clave: 3G, GPRS, redes inalámbricas en malla, telemedicina, Wi-Fi, Wi-MAX.

Abstract

In this paper, a researching over principal wireless technologies to the information transmission summary is presented, analyzing the principal features to define the best option to an interconnection between medical units to provide telemedicine services. A quantitative and qualitative comparison is made over wireless technologies principal features and a more detailed description over the technology defined as the best option.

Key words: 3G, GPRS, wireless mesh networks, telemedicine, Wi-Fi, Wi-MAX.

Fecha de recepción: 4 de enero de 2009
Fecha de aceptación: 21 de marzo de 2009

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la implementación de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TIC) en distintas áreas de la vida cotidiana las ha convertido en una gran herramienta para el desarrollo de los países. Las condiciones de salud y la calidad de vida de las personas son aspectos que se han podido mejorar gracias a la tecnología, así como el intercambio de información entre profesionales y la capacitación de personal, que para todos estos casos evitan grandes desplazamientos a quienes residen en zonas apartadas donde no se presentan algunos tipos de servicios. Teniendo en cuenta esta serie de antecedentes, la telemedicina hace posible la universalidad de los servicios médicos que facilitan a las comunidades apartadas el acceso a servicios, como los que se presentan en las áreas metropolitanas, y que responden a las necesidades particulares de las poblaciones [1].

Para dar acceso a servicios de telemedicina en zonas rurales es preciso contemplar la alternativa de soluciones inalámbricas mediante la interconexión de los distintos nodos seleccionados, dadas las ventajas que presentan este tipo de tecnologías sobre otras que utilizan medios guiados por la conexión

física [1], [2]. Por esta razón se hace necesario realizar un estudio entre las diferentes tecnologías inalámbricas que cumplen con las características esenciales para prestar servicios de telemedicina. El objetivo del estudio es analizar los distintos aspectos de las tecnologías a fin de escoger la más apropiada para el caso de la telemedicina en zonas rurales.

A continuación se presenta una contextualización general de la telemedicina y algunos de los servicios que presta. Luego se muestra la descripción de las distintas tecnologías estudiadas con una comparación entre ellas. Después se hace una presentación más detallada de la tecnología seleccionada y por último, se resumen las conclusiones del estudio realizado.

1. TELEMEDICINA

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define la telemedicina como el suministro de servicios de atención sanitaria a distancia por medio de tecnologías de información y telecomunicaciones, con el fin de intercambiar datos para hacer diagnósticos, prevenir enfermedades y accidentes, y formar permanentemente a profesionales de atención de salud, que mejoren la salud de las personas y de las comunidades en que viven [3]. Por su parte, la Asociación Americana de Telemedicina (ATA por sus siglas en inglés) define esta disciplina como el intercambio de información médica entre dos lugares distintos, usando comunicaciones electrónicas, para la salud y educación del paciente o el proveedor de los servicios sanitarios, y con el fin de mejorar la asistencia del paciente [4].

Por medio de la telemedicina, pacientes en zonas apartadas donde no existen médicos especialistas pueden tener acceso a distintos servicios médicos [5] tales como telecardiología [6], teledermatología [7], teleginecología [8], telerradiología [9], teleinfectología [10], entre otros.

Para una red de telemedicina se deben cumplir unos requisitos mínimos de transmisión, como son 64 kbps para imágenes estáticas de baja resolución, 384 kbps para imágenes estáticas de mediana resolución y 1.54 Mbps para imágenes estáticas de alta resolución [11].

2. COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS

Como alternativa para un sistema de interconexión de unidades médicas, se encuentran distintos tipos de tecnologías tanto cableadas como inalámbricas. Sin embargo, las tecnologías inalámbricas se muestran como la solución más apropiada en casos en los que se desea dar acceso a la salud en poblaciones apartadas y de escasos recursos, a diferencia de otras tecnologías cuya implementación significaría costos elevados e inasequibles a este tipo de comunidades [2]. También se debe tener en cuenta que la gran dispersión poblacional de las comunidades de zonas apartadas es un factor que limita el ofrecimiento y consiguiente uso de las tecnologías cableadas de empresas Prestadoras de Servicios de Internet (ISP, por sus siglas en inglés) como xDSL o Cable MODEM [12].

La figura 1 muestra una comparación de ancho de banda y rango de cobertura entre las principales tecnologías inalámbricas presentadas hoy en día [13]. De las tecnologías ilustradas en la gráfica, no se tendrá en cuenta para el estudio la tecnología *bluetooth*, debido a que esta es una tecnología para redes de área personal [14] y no sería apta para interconectar centros de salud.

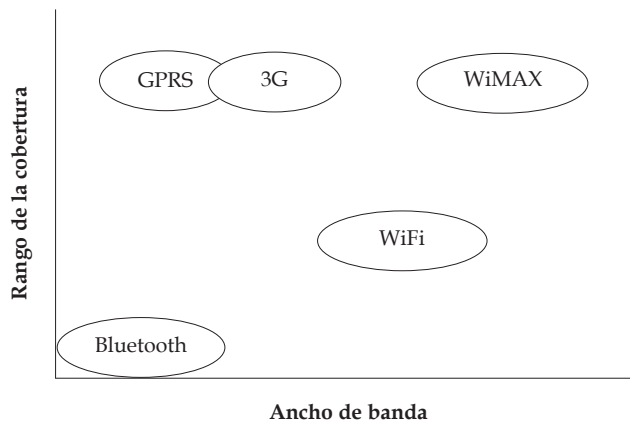


Figura 1. Comparación de tecnologías inalámbricas respecto a su rango de cobertura y ancho de banda [13]

A continuación se presenta una descripción de cada una de las tecnologías restantes.

2.1. Wi-Fi

Wi-Fi son las siglas de *Wireless Fidelity* y comprende una gran cantidad de estándares para redes de comunicación inalámbrica basados en las especificaciones IEEE 802.11. En sus inicios Wi-Fi fue pensado para conectar redes locales inalámbricas; sin embargo, actualmente se utiliza para el acceso a Internet [15].

En Wi-Fi un punto de acceso inalámbrico (*access point*) transmite y recibe datos a través de ondas de radio y los equipos remotos, que cuentan con un transceptor (transmisor-receptor) en una tarjeta de acceso, se comunican con él como se muestra en la figura 2 [16]. El punto de acceso inalámbrico (*access point*) se conecta a un MODEM que se comunica de manera cableada con el núcleo de la red. Por cuestiones de seguridad, mediante un esquema llamado WEP (*Wired Equivalent Privacy*) los datos reciben un tratamiento criptográfico con códigos de 128 bits y solo los usuarios con contraseña pueden acceder a la red [17]. Hoy en día, se utiliza un esquema más robusto llamado WPA: *Wi-Fi Protected Access* [17].

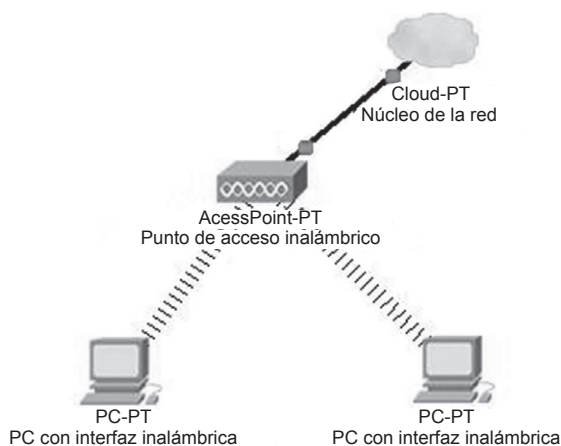


Figura 2. Diagrama de una red Wi-Fi.

Wi-Fi es una tecnología de área local que alcanza tasas de transmisión de hasta 54 kbps en un canal de 20 MHz en la banda de 2.4 GHz (banda no licenciada) y opera con modulaciones PSK, QPSK y OFDM [18]. Es una plataforma bastante escalable y de fácil instalación. Sin embargo, no garantiza calidad de servicio (QoS) ni brinda mayor seguridad a la información que se transmite [20].

La tabla 1 presenta un resumen conceptual de la familia de estándares IEEE 802.11, por los cuales se rige la tecnología Wi-Fi [19].

Tabla 1
Familia de protocolos IEEE 802.11

| Estándar | Descripción |
|----------|---|
| 802.11 | Estándar WLAN original. Soporta de 1 a 2 Mbps. |
| 802.11a | Estándar WLAN de alta velocidad en la banda de los 5 GHz. Soporta hasta 54 Mbps. |
| 802.11b | Estándar WLAN para la banda de 2.4 GHz. Soporta 11Mbps. |
| 802.11e | Está dirigido a los requerimientos de calidad de servicio para todas las interfaces IEEE WLAN de radio. |
| 802.11f | Define la comunicación entre puntos de acceso para facilitar redes WLAN de diferentes proveedores. |
| 802.11g | Establece una técnica de modulación adicional para la banda de los 2.4 GHz. Dirigido a proporcionar velocidades de hasta 54 Mbps. |
| 802.11h | Define la administración del espectro de la banda de los 5 GHz para su uso en Europa y en Asia-Pacífico |
| 802.11i | Está dirigido a abatir la vulnerabilidad actual en la seguridad para protocolos de autenticación y de codificación. |

2.2. WiMAX

WiMAX es la abreviatura de *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, nombre con el que se conoce al grupo de estándares IEEE 802.16, que es un estándar inalámbrico aprobado por el WiMAX *forum*, al que pertenecen fabricantes de una gran diversidad de productos de telecomunicaciones [21]. La figura 3 muestra un diagrama de conexión de una red WiMAX compuesta por varias estaciones base.

WiMAX es una tecnología inalámbrica diseñada para una red de área metropolitana con cobertura de 50 km por celda y tasas de transmisión de hasta 70 Mbps, utilizando la tecnología portátil LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*) [22]. La tabla 2 presenta las principales características de la tecnología WiMAX [23].

Con ella se mejoran las tecnologías 802.11 en la medida en que puede abarcar grandes áreas geográficas con calidad de servicio [24], suficientes para transmitir aplicaciones de video que son muy importante en la telemedicina

[25]. Sin embargo, el hecho de transmitir en una banda licenciada, condiciona su uso a un Proveedor de Servicios de Internet (ISP por sus siglas en inglés); así mismo, como el tráfico de información médica viaja por Internet, esto la hace más insegura y menos confiable [26], [27].

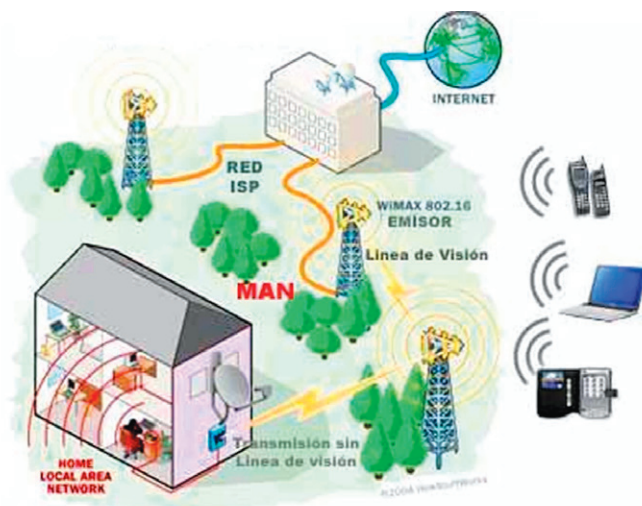


Figura 3. Diagrama de una red WiMAX [16]

Tabla 2
Principales características de la tecnología WiMAX

| Características | Descripción |
|--|--|
| Sin línea de vista | No requiere línea de vista entre antena y equipo suscriptor |
| Modulación OFDM | Permite la transmisión simultánea de varias señales a través de cable o aire en diversas frecuencias. Usa espaciamiento ortogonal de frecuencias para prevenir interferencias. |
| Antenas inteligentes | Soporta mecanismos que mejoran la eficacia espectral en redes inalámbricas y diversidad de antenas |
| Topología punto-multi-punto y de malla | Soporta topología de punto a multipunto y de malla para conectar suscriptores. |
| Calidad de Servicio (QoS) | Califica la operación NLOS sin que la señal se distorsione severamente por la existencia de edificios, o condiciones climáticas. |
| Seguridad | El estándar 802.16 utiliza certificación X.509 usando DES en modo CBC. |
| Bandas bajo licencia | Opera en bandas licenciadas de 2.3GHz y 3.5GHz para comunicaciones exteriores. |

Continúa...

| | |
|-------------------------|--|
| Canalización | 5MHz y 10MHz |
| Codificación | Adaptativa |
| Modulación | Adaptativa |
| Ecuilización | Adaptativa |
| Potencia de transmisión | Controlada |
| Corrección de errores | ARQ |
| Acceso al medio | TDMA dinámico |
| Aprovisionamiento | TFTP y DHCP |
| Alcance | 50 km sin línea de vista, 5 km en áreas densamente pobladas. |
| Aplicaciones | Voz, video y datos. |

2.3. GPRS (*General Packet Radio Service*)

GPRS (*General Packet Radio Service*) es una nueva tecnología inalámbrica que comparte el rango de frecuencias de la red celular GSM (*Global System for Mobile*) como muestra la figura 4, utilizando una transmisión de datos por medio de paquetes. La conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado tanto para transmitir datos como para la transmisión de voz [28], [29], en lugar de la conmutación de circuitos que se venía utilizando al transmitirse datos en GSH.

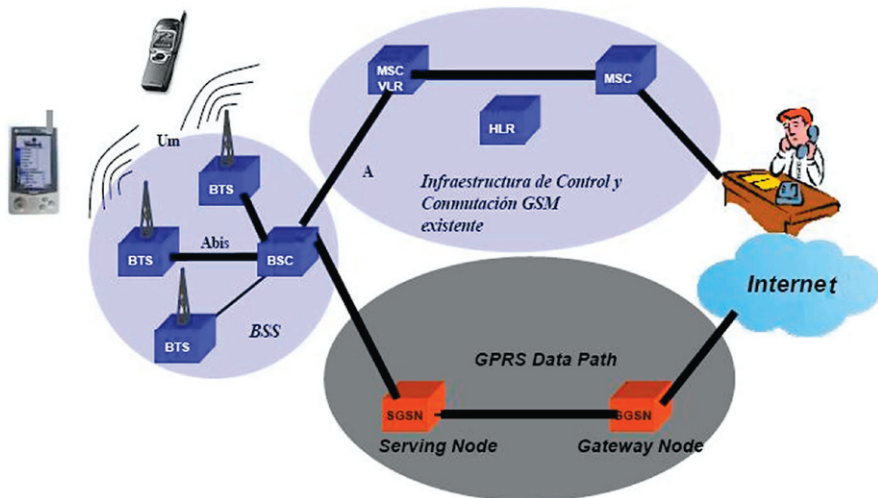


Figura 4. Diagrama de una red GPRS [28]

La tabla 3 muestra una comparación entre GPRS y otras tecnologías celulares que trabajan de manera similar, como son EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) y 3G (Tecnología Inalámbrica de Tercera Generación), teniendo en cuenta algunas de sus características [30], [31].

Tabla 3
Comparación entre tecnologías celulares

| Tecnología | GPRS | EDGE | 3G |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|
| Frecuencia de operación | 0,8/1,7/1,8 GHz | 0,8/1,7/1,8 GHz | 1,7/2,1 GHz |
| Licenciado | Sí | Sí | Sí |
| Factor de canalización | 200 kHz | 200 kHz | 5 MHz |
| Velocidad de transmisión de datos | Hasta 114 kbps | Hasta 473 kbps | Hasta 2 Mbps |
| Rango de cobertura | 5 km o menos | 5 km o menos | 5 km o menos |

Podría pensarse que una red celular sería la solución perfecta para la transmisión de información entre unidades médicas porque la cobertura de una red celular abarca gran parte de la superficie de un país [32]. No obstante, este tipo de redes han sido diseñadas para el tráfico de voz y no para el tráfico de datos. Además, el hecho de transmitirse a través de Internet, implica que el envío de información no tenga ningún tipo de calidad de servicio, factor que podría afectar el diagnóstico médico.

2.4. Redes inalámbricas en malla

Una tecnología inalámbrica que se encuentra emergiendo actualmente es la tecnología de redes inalámbricas en malla (*Wireless Mesh Networks*). Este tipo de redes ofrece cualidades de calidad de servicio, seguridad y robustez, en una plataforma de fácil implementación como la de una red WiFi, que no tiene estas características [33], [34].

Las redes inalámbricas Mesh, o redes inalámbricas en malla, constan de una topología punto a punto que transmiten la información a través de múltiples saltos, donde los nodos participantes se comunican a través de conexiones redundantes, cooperando entre sí para enviar y recibir la información como se ilustra en la figura 5 [35]. Una de sus principales ventajas es la capacidad de configurar dinámicamente enlaces inalámbricos y de establecer al mismo

tiempo nuevas topologías de red, de modo que, en caso de fallos, los enlaces se puedan recuperar automáticamente y se balancee el tráfico [36].

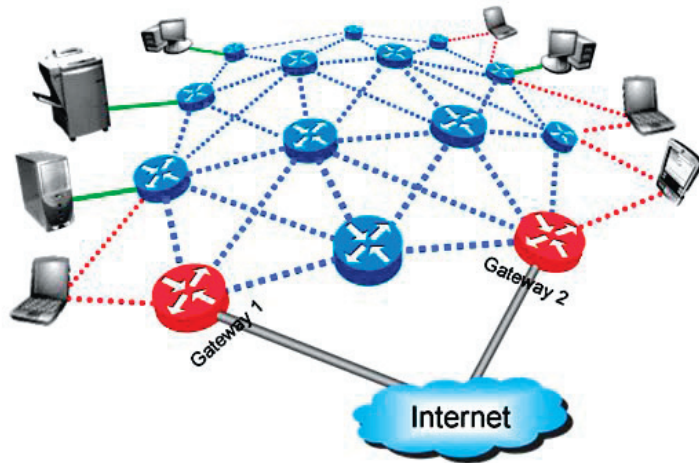


Figura 5. Diagrama de una red Mesh [35]

Las redes inalámbricas en malla constan de nodos fijos, a diferencia de las redes MANET (Mobile Ad Hoc Network), [37]. En una red en malla metropolitana, los usuarios finales acceden a esta por medio de conexiones locales en la banda de 2.4 GHz conectándose a uno de los nodos Mesh, que a su vez se conectan con otros nodos Mesh en la banda de 5 GHz [33], [38].

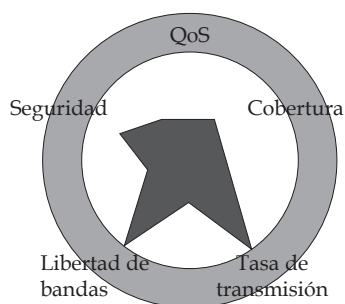
2.5. Comparación entre tecnologías estudiadas

Después de analizar las diversas tecnologías inalámbricas mencionadas anteriormente, en la tabla V se muestra un resumen de la comparación de acuerdo a sus principales características.

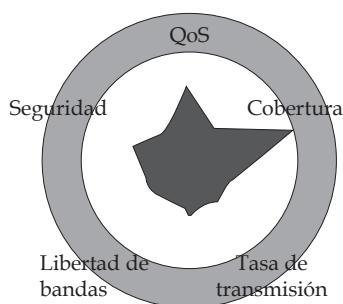
Al analizar la información contenida en la tabla 4 se observa que todas las tecnologías, excepto GPRS, cumplen con una tasa de transmisión suficiente para aplicaciones de audio y video [39], necesarias para servicios de telemedicina. WiMAX, GPRS y 3G son tecnologías que trabajan en una banda licenciada [26], [31]. WiFi es una tecnología que provee una gran tasa de transmisión; sin embargo, no garantiza calidad de servicio (QoS) ni es apta para extensas áreas [15].

Tabla 4
Comparación entre tecnologías inalámbricas

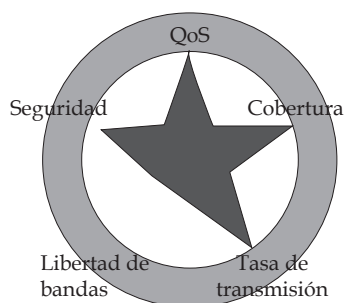
| Tecnología | WiFi | WiMAX | GPRS | 3G | WiMesh |
|----------------------|--------------------|------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Estándares | 802.11 | 802.16 | GPRS | IMT2000 | 802.11s |
| Radio de celda | 0,01 - 0,1 km | 1 - 15 km | 30 km | | |
| Banda de transmisión | 2.4 GHz, 5 GHz | 2.3 GHz, 3.5 GHz | 800 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz | 1900 MHz, 2100 MHz | 2.4 GHz, 5 GHz |
| BW del canal | 20 MHz | 1.25 - 20 MHz | 200 kHz | 5 MHz | 20 MHz |
| Tasa de transmisión | 54 Mbps | 100 Mbps | 114 kbps | 2 Mbps | 54 Mbps |
| Throughput | 36 Mbps | 75 Mbps | 22 kbps | 1,8 Mbps | 36 Mbps |
| Encriptación | WPA, WEP | x.509 con DES en modo CBC | GEA | | AES |
| Modulación | PSK, QPSK, OFDM | OFDM | GMSK | QPSK - 16QAM | PSK |
| Tecnología de acceso | CSMA/CA | DAMA - TDMA | FDMA - FDD | CDMA | QDMA |
| Calidad de servicio | No | Sí | No | Sí | Sí |
| Licenciada | No | Sí | Sí | Sí | No |



a. Wi-Fi



c. Tecnologías Celulares



b. WiMAX



d. WiMesh

Figura 6. Diagrama web comparativo entre las distintas tecnologías

La tecnología de redes en malla combina las cualidades principales que se han mencionado sobre el problema planteado, como son la cobertura, seguridad, calidad de servicio, entre otras. Además, no trabaja en una banda de frecuencia licenciada, lo que la hace idónea para la solución requerida.

La figura 6 muestra un resumen gráfico del análisis realizado anteriormente, que ratifica la tecnología de redes en malla como la mejor opción para la interconexión de unidades médicas en la provisión de servicios de telemedicina.

3. TECNOLOGÍA SELECCIONADA

La tecnología seleccionada como solución inalámbrica para interconexión de unidades médicas en la provisión de servicios de telemedicina es la de redes inalámbricas en malla. La tabla 5 muestra sus principales características [33].

3.1. Estandarización y orientación en redes inalámbricas en malla

Las redes Mesh se encuentran en proceso de estandarización por parte del IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a través del estándar IEEE 802.11s, que tuvo su primer borrador en el año 2006 y pronto va a definir su versión final [40], [41], [42].

El grupo del IEEE que trabaja en el desarrollo del estándar IEEE 802.11s (IEEE Task Group TGs) define la arquitectura de red y el protocolo que se necesita a partir de la tecnología IEEE 802.11, para la obtención de una arquitectura de red que sea autoconfigurable y soporte la transmisión *unicast*, *multicast* y *broadcast*, manteniendo el rendimiento de la red en niveles tolerables para la transmisión de aplicaciones multimedia en tiempo real y datos con altas tasas de transmisión [43], [44], [45].

En cuanto a la orientación de la ruta, las WMN (*Wireless Mesh Networks*) deben tener un protocolo de esta naturaleza con capacidad de manejo dinámico y las conexiones de nodos en la red. Algunos de los principales elementos que se encuentran en el enrutamiento de una red Mesh son: el descubrimiento de nodo, descubrimiento de fronteras, mediciones de enlaces, cálculo de rutas, asignación y control de direcciones IP y manejo de enlaces a redes externas [45], [46], [47].

Según la manera como se controlan los enlaces y sus estados, los protocolos de orientación de ruta Mesh se clasifican en proactivos y reactivos [45], [48].

La orientación proactiva (por tablas) tiene como característica realizar evaluaciones del estado de los enlaces y actualizar las tablas de instrucción según los resultados de dichas evaluaciones. Estos protocolos manejan una gran complejidad y carga del procesador; sin embargo, las redes presentan un buen rendimiento [45], [49].

Por su parte, en la orientación reactiva (según demanda) se descubren las rutas que no operan y se revisan las tablas-guías según estas situaciones [45].

Para definir el estado de los enlaces y las rutas que consiguientemente deben seguir los paquetes, se realizan mediciones. Por medio de estas mediciones, el protocolo de orientación de la ruta calcula su costo, con lo cual se precisa qué tanto se afecta la información cuando se transmite para definir mejor el itinerario [50], [51], [52].

3.2. Solución propuesta

Después de haber seleccionado la tecnología de redes en malla como la solución más apropiada, se propone un modelo, según se muestra en la figura 7, donde se conectan centros y puestos de salud por medio de enlaces en la banda de 2.4 GHz con hospitales, los cuales serán los nodos Mesh, y se comunicarán entre sí por medio de los enlaces *backhaul* en la banda de 5 GHz formando la malla de la red [32].

CONCLUSIONES

Wi-Fi es una tecnología que provee una buena tasa de transmisión y posee la característica de su facilidad de instalación y configuración. Sin embargo, no ofrece seguridad en la información que transmite, lo cual es un factor crítico para aplicaciones médicas. Además, en función de su cobertura, es una tecnología que no está en capacidad de abarcar territorios como todo el departamento del Atlántico, aunque su cobertura llegue a todos los municipios. Dichos factores descartan el uso de esta tecnología para fines de una red de telemedicina entre las unidades médicas del departamento.

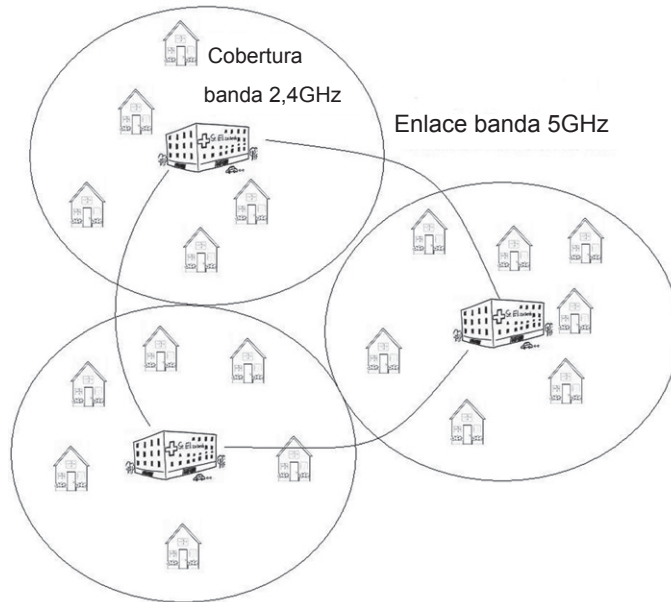


Figura 7. Modelo de interconexión propuesto

El problema de la cobertura de Wi-Fi es aparentemente solucionado por la tecnología WiMAX, que lleva la tecnología inalámbrica de un entorno LAN a un entorno MAN, después de adaptarlo a los requerimientos del problema propuesto. Sin embargo, esta es una tecnología cuya banda de operación se encuentra en un intervalo de frecuencias licenciado. Esto hace que la opción de WiMAX se limite a tener una conexión de banda ancha con un operador de Internet en cada unidad médica para transmitir la información a través de Internet; con esto, la transferencia pierde seguridad y calidad de servicio.

La característica principal de GPRS y de 3G al encontrarse sobre una red celular, con cobertura por casi toda la extensión de un país, la haría idónea para la conectividad entre unidades médicas cuando se proveen servicios de telemedicina. Sin embargo, el mismo hecho de estar montada sobre este tipo de red, hace que la prioridad de la red sea el tráfico de voz mas no el de datos, y que al transmitirse los datos a través de Internet, esta se hace sin ningún tipo de calidad de servicio que podría afectar el diagnóstico médico. Además, se encuentra también el factor de la seguridad en la información transmitida. Por ser información de carácter médico, requiere de ciertos tratamientos de confidencialidad difíciles de aplicar sobre una red celular.

La tecnología Mesh, combina las ventajas de las tecnologías Wi-Fi y WiMAX, por ser una red con altas tasas de transferencia, segura, con gran área de cobertura y con posibilidad de tener calidad de servicio. Con esta tecnología, es posible interconectar unidades médicas cercanas por medio de acceso Wi-Fi de largo alcance, que si se juntan en un mismo nodo, forman grupos de unidades médicas que ponen en malla todos los nodos por enlaces *backhaul* para tener una interconexión de todas las unidades médicas.

REFERENCIAS

- [1] C. Viloría, J. Cardona, C. Lozano. "Viabilidad de redes inalámbricas malladas en servicios de telemedicina en el Atlántico". *Revista Ciencia*, vol. 1, no. 1, pp. 22-27, nov. 2008.
- [2] J. Hurtado, D. Lozano, G. Méndez. "Diseño y simulación de una red inalámbrica en malla para el transporte de voz en un entorno rural." Congreso Colombiano de Comunicaciones COLCOM. Popayán, Colombia, 2007.
- [3] P. de Toledo Heras. "Propuesta de un modelo de sistema de telemedicina para la atención sanitaria domiciliaria". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Madrid, 2003.
- [4] J. Vergeles-Blanca. "La telemedicina. Desarrollo, ventajas y dudas". *JANO, Medicina y Humanidades*, no. 1640, pp. 59-61, mar. 2007.
- [5] Orbitel. "Conexiones: La telemedicina, una solución alternativa para la salud". (vía web). <http://www.orbitel.net.co/home/tecnologia/secciones/conexiones/la-telemedicina-una-solucion-alternativa-para-la-salud>. [Revisado en dic. 2008].
- [6] S. Scalvini, E. Zanelli, D. Domenighini, G. Messarelli, P. Zampini. "Telecardiology Community: A new approach to take care of cardiac patients", *Cardiología*, vol. 44, no. 10, pp. 921-924. 1999.
- [7] J. Casanova, M. Buti, R. Martí, M. Baradad, D. Riba, P. Freixanet. "Tele dermatología". *Med Cutan Iber Lat Am*, vol. 33, no. 2, pp. 53-64. 2005.
- [8] O. Dueñas, H. Rico, J. Beltrán. "Telemedicina y cirugía robótica en ginecología". *Ginecol Obstet Mex.*, vol. 76, no. 3, pp. 161-166. 2008.
- [9] M. Martínez-Sapiña, I. Requejo, J. Castro, J. Lafuente. "Implantación de un sistema de teleradiología entre un ambulatorio (Betanzos) y un hospital terciario (Juan Canalejo)". Primeras Jornadas de Telemedicina. Santiago de Compostela, España. 2008
- [10] T. Cabrero. "La telemedicina y su situación en Galicia". *Enfermería Cardiovascular. Orense*, nov. 2003.

- [11] P. Rincón. "Compresión de imágenes utilizando DWT. Sistemas PACS y servicios de teleconsulta y telediagnóstico". Tesis de grado de Ingeniería Electrónica. Universidad de Cundinamarca, 2004.
- [12] Á. Rendón, A. Martínez, M. F. Dulcey, J. Seoane, R. G. Shoemaker, V. Villarroel, D. López, J. Simó. "Rural Telemedicine Infrastructure and Services in the Department of Cauca, Colombia". *Telemedicine and e-Health*, vol. 11, no. 4, pp. 451-459, Aug. 2005.
- [13] D. Soro, A. González, D. Rojo, C. Feijóo. "Tendencias de la regulación de tecnologías inalámbricas. El caso de WiFi y WiMAX". Universidad Politécnica de Madrid. 2008
- [14] P. McDermott-Wells. "What is Bluetooth?". *IEEE Potentials*, vol. 23, no. 5, pp. 33-35, Dec., 2004.
- [15] CONSUMER Eroski. "Seguridad en redes wifi". (vía Internet). <http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2005/04/04/140924.php>. [Revisado en dic. 2008]
- [16] I. Pérez López. "Wireless. Redes Inalámbricas: WiFi, WiMAX". *IES Manuel Bartolomé Cossio*, ene. 2007.
- [17] J. Freja, C. Viloría. "Análisis de rendimiento de la transmisión de televisión sobre IP (IPTV) bajo diferentes plataformas tecnológicas". Tesis de grado de Ingeniería Electrónica. Universidad del Norte. 2008.
- [18] C. Mezquida. "Diseño y optimización de una antena impresa para Wireless LAN". Universidad Politécnica de Valencia - Escuela Politécnica Superior de Gandia Ingeniería Técnica de Telecomunicación (Sistemas de Telecomunicación). 2004.
- [19] M. Espinoza, C. Ioaiza. "Seguridad para la red inalámbrica de un campus universitario". LACNIC XI. 2008.
- [20] Telefónica. "Servicio de Conectividad mediante tecnología inalámbrica WiFi/WiMAX". Dirección de Área Comercial. 2006.
- [21] OLA Telecomunicaciones. "WiMAX banda ancha inalámbrica. Caso Orbitel". Tecnocimiento OLA. 2006.
- [22] K. Lu, Y. Qian, H. Chen, S. fu. "WiMAX networks: from access to service platform". *IEEE Network*, vol. 22, no. 3. pp. 38-45, May. 2008.
- [23] I. Muñiz. "WiMAX: el nuevo acceso inalámbrico a Internet". Centro de Investigación e Innovación en Telecomunicaciones CINIT, feb. 2005.
- [24] Quobis Networks. "WiMAX: la revolución inalámbrica". Área Comercial. 2006.
- [25] A. A. Salazar, A. Kopec. "Telemedicina aplicaciones de telecomunicaciones en salud en la subregión andina - telemedicina". Documentos institucionales. Organismo Andino de Salud, Convenio Hipólito Unanue. OPS/OMS. 2002.
- [26] Y. Abdulrahman, M. Bwanga, T. Ajay. "WiMAX: A key to bridging the digital divide". *IEEE Proceedings of Southeast Conference*. Virginia, USA, Mar. 2007.
- [27] D. Cifuentes. "Redes inalámbricas". *El Oráculo de las Comunicaciones*. 2008.

- [28] Radiocomunicaciones Móviles. "Tecnología 2.5 GPRS". Escuela Superior de Ingeniería de Telecomunicaciones. Universidad Rey Juan Carlos. 2005.
- [29] S. Ni. "GPRS network planning on the existing GSM system". IEEE Global Telecommunications Conference. San Francisco, USA. Dec. 2000
- [30] A. Millán. "Las redes municipales enmalladas: Infraestructura de los territorios digitales". Memorias de Conferencia en Universidad San Buenaventura. Bogotá, Colombia. 2008.
- [31] L. Walters, P. S. Kritzinger. "Redes celulares: pasado, presente y futuro". *Mobile & Wireless Computing*, vol. 7, n.º 2, 2000.
- [32] J. Tello. "Prototipo para la adquisición, compresión y envío de señales ECG a través de la red móvil celular vía GPRS o EDGE". *Revista Tendencias*. 2008.
- [33] A. Pacual, M. Pérez. "Diseño e Implementación de una red WiFi Mesh en un entorno campus". Proyecto de fin de carrera de Ingeniería de Telecomunicaciones. Universidad de Deusto, 2007.
- [34] Akyildiz, I.F.; Xudong Wang; "A survey on wireless Mesh networks". *IEEE Communications Magazine*, vol. 43, no. 9, pp. 23-30, Sep. 2005.
- [35] Jangeun Jun; Sichitiu, M.L.; "The nominal capacity of wireless Mesh networks" *IEEE Wireless Communications*, vol. 10, no. 5, pp. 8-14, Oct. 2003.
- [36] D. Johnson, K. Mathee, D. Sokoya, L. Mboweni, A. Makan, H. Kotze. "Building a Rural Wireless Mesh Network". Meraka Institute. African Advanced Institute for Information & Communications Technology, Oct. 2007.
- [37] N. Graychase. "Motorola Mesh Helps Drives". Motorola, Aug. 2005.
- [38] F. Rabbi, T. Taufiqur, A. Uddin, A. Salehin. "An Efficient Wireless Mesh Network: A New Architecture". IEEE International Conference on Communiccations Technology. Beijing, China. Nov. 2006.
- [39] J. Freja, C. Viloria, Y. Donoso. "Análisis de rendimiento de la transmisión de IPTV sobre ADSL, WiFi y LAN Extended". *Ingeniería & Desarrollo*, no. 23, pp. 84-103, jun. 2008.
- [40] V. Bahl, "A crash course in Mesh Networking". Microsoft Research, 2006.
- [41] G. Hiertz, S. Max, T. Junge. "IEEE 802.11s - Mesh Deterministic Access". IEEE European Wireless Conference. Prague, República Checa. 2008.
- [42] G. Hiertz, S. Max, R. Zhao, D. Denteneer, L. Berlemann. "Principles of IEEE802.11s". Proceedings of 16th IEEE International Conference on Computer Communications and Networks. Hawaii, USA. 2007.
- [43] IEEE 802.11s Task Group TGs. "Mesh Networking". http://www.ieee802.org/11/Reports/tgs_update.htm. [Revisado en dic. 2008]
- [44] X. Li, W. Yang, S. Moon, J. Ma. "Authentications Method for 802.11s Infrastructure Mode". IEEE International Conference on Communications and Networking in China. Beijing, China. 2006

- [45] J. Camp, E. Knightly. "The IEEE 802.11s Extended Service Set Mesh Networking Standard". *IEEE Communications Magazine*, vol 46, no. 8, pp. 120-126, Aug. 2008.
- [46] S. Büttrich. "Tejiendo redes inalámbricas comunitarias en América Latina y el Caribe". Proyecto TRICALCAR, 2007.
- [47] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill. "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks". Proceedings of the 10th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, pp. 114-128. ACM Press, 2004.
- [48] A. Klein, P. Tran-Gia. "A Static-Based Approach towards Routing in Mesh Networks". IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems. Pisa, Italia. Oct. 2007.
- [49] H. Song, B. Chan, J. Young, H. Soo. "IEEE 802.11-based Wireless Mesh Network Testbed". *IEEE Mobile and Wireless Communications Summit*. Jul. 2007.
- [50] M. Kim, L.R., J. Yoo, D. Kim, H. Kim. "QoS Mesh Routing Protocol for IEEE 802.16 based Wireless Mesh Networks". IEEE International Conference on Advanced Communications Technology. Phoenix Park, República de Korea. Feb. 2008.
- [51] Z. Mahmud, A. Abdalla, S. Al-Irhayim, S. Khan. "Review and evaluation of the proposed wireless Mesh routing protocols". IEEE International Conference on Computer and Communications Engineering. Kuala Lumpur, Malasia. May. 2008.
- [52] U. Ashraf, S. Abdellatif, G. Juanolet. "Efficient route maintenance in wireless Mesh networks". IEEE International Symposium on Wireless Pervasive Computing. Santorini, Grecia. May. 2008.