



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



Máster Universitario
en Tecnologías, Sistemas y
Redes de Comunicaciones

Análisis de arquitecturas y tecnologías de comunicaciones de sistemas de mando y control para gestión de emergencias.

Autor: María de las Nieves Soberón del Barrio

Director: Manuel Esteve Domingo

Fecha de comienzo: 25/02/2013

Lugar de trabajo: Grupo de Investigación Sistemas y Aplicaciones de Tiempo Real

Distribuido

Departamento de Comunicaciones UPV

Objetivos — El presente trabajo tiene como principal objetivo definir cuál de las arquitecturas y tecnologías actuales proporciona el mejor rendimiento a fin de ser utilizada en redes de emergencias. Por medio de simulaciones realizadas en el NS-2 se mostrará que capacidad ofrecen los distintos enlaces para tomar la decisión óptima de acuerdo a las necesidades de dichos sistemas.

Metodología — Este trabajo ha consistido en una metodología teórica y práctica. Por una parte se han investigado las propuestas tecnológicas y los comportamientos esperados de las tecnologías, se ha revisado el estado del arte de los sistemas de emergencias y las propuestas y proyectos destinados a tal fin. Por otra parte, se ha realizado una serie de simulaciones a fin de demostrar los resultados prácticos al momento de implementar diversos protocolos. Ha sido necesario realizar las simulaciones en distintos niveles y bajo diversas condiciones a fin de obtener resultados confiables y apegados a la realidad.

Desarrollos teóricos realizados — Antes de plantear cualquier tipo de arquitectura, se ha realizado la investigación teórica necesaria para reconocer las actuales propuestas y el estado del arte de las redes de emergencia; se ha reunido información suficiente para determinar que aplicaciones son útiles en este campo, que arquitectura ofrece mejores resultados y que tecnología, de las existentes actualmente en el mercado, es factible a ser usada.

Desarrollo de prototipos y trabajo de laboratorio — Con base en la información teórica reunida, se realizaron diversas simulaciones, adecuándose a los distintos niveles y variaciones planteadas en el marco teórico. Se hizo además un análisis concienzudo de los resultados obtenidos, para así presentar los datos relevantes que definan la tecnología a ser usada.

Resultados — Se simularon diversas tecnologías en los posibles escenarios, y se obtuvieron y compararon los valores de *throughput* y *delay* en 4 niveles de la red de sistemas de emergencia con distintas tecnologías: WiFi, WiMAX, TETRA, SAT y 3G. Se comprobó que la propuesta de red con mejores prestaciones es aquella que integra WiMAX en los primeros tres niveles de red y un enlace satelital como el troncal hacia el sitio principal de emergencias. Finalmente se hizo un cálculo de razones para determinar el porcentaje de mejora que puede obtenerse de una tecnología respecto a otra. A pesar de que los resultados obtenidos confirman un comportamiento que cabría esperarse de acuerdo a las definiciones de los protocolos, se ha podido comprobar que el rendimiento es hasta cinco veces superior al usarse WiMAX.

Líneas futuras — El presente trabajo permite establecer cierto precedente al momento de elegir tecnologías para los sistemas de emergencias, es posible continuarlo con tecnologías emergentes conforme vayan surgiendo, además, es una posible base teórica para implantaciones con equipos reales.

Abstract — This work shows the most efficient technology, in terms of throughput and delay, to be implemented in emergency systems. The results were obtained through simulations in NS-2 simulation tool, and all the output data were analyzed in order to define with specific and measurable parameters the best technological option, on the technical approach, to be used in emergency networks. The result shows a better performance integrating WiMAX in the first three layers and satellite link in the last one which increases the behavior five times over WiFi.

Autor: Soberón del Barrio María de las Nieves email: masodel@teleco.upv.es

Director: Esteve Domingo Manuel email: mesteve@dcom.upv.es

Fecha de entrega: 24-06-13

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	4
I.1. Definición de sistema de emergencia.....	4
I.2. Sistema unificado de emergencias en la Unión Europea	4
I.3. Requisitos generales de sistemas de mando y control	5
II. SISTEMAS DE EMERGENCIA	5
II.1. Importancia de las comunicaciones en las emergencias	5
II.2. Aplicaciones necesarias para emergencias	6
II.3. Tecnologías disponibles para emergencias	8
II.4. Arquitecturas de red para operaciones de emergencia	11
II.5. Arquitectura ERCN	13
III. ESTADO DEL ARTE	15
III.1. Niveles de operación de sistemas de emergencia	15
III.2. Tecnologías propuestas para sistemas de emergencia	17
IV. EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PROPUESTAS	20
IV.1. Simulador NS-2	20
IV.2. Simulaciones planteadas	21
IV.3. Enlace <i>mesh</i> FRU.....	21
IV.4. Enlace SN-MEOC.....	22
IV.5. Enlace <i>mesh</i> MEOC.....	24
IV.6. Enlace troncal hacia EOC	25
IV.7. Razones de los enlaces	27
IV.8. Comparativa entre tecnologías	28
V. CONCLUSIONES	30
V.1. Conclusiones	30
Referencias	31

I. INTRODUCCIÓN.

I.1. DEFINICIÓN DE SISTEMA DE EMERGENCIA.

Una de las acepciones de sistema, en el diccionario de la Real Academia Española, lo define como: “Conjunto de cosas que relacionadas entre sí ordenadamente contribuyen a determinado objeto.”[1]; asimismo, una de las definiciones de emergencia es la de: “Situación de peligro o desastre que requiere una acción inmediata.”[2] Un sistema de emergencias será entonces aquel que permita, de modo organizado y eficiente, atender a la brevedad posible cualquier situación de peligro.

En su libro, *Primeros auxilios*, Ana María Fernández define al Sistema Integral de Emergencias (SIE) como “el conjunto de diferentes cuerpos o servicios que se activa cuando sucede una emergencia para dar una respuesta adecuada a las diferentes necesidades originadas.”[3]

I.2. SISTEMA UNIFICADO DE EMERGENCIAS EN LA UNIÓN EUROPEA.

En 1991 el Consejo de la Unión Europea estableció el 112 como número telefónico de emergencias europeo [4]; en dicho número se atienden las llamadas de urgencia, recopilando la mayor información posible de quien llama, avisando a todos los servicios de emergencia que deban actuar ofreciendo una plataforma tecnológica común. Dicha plataforma permite la existencia de una herramienta general para comunicaciones y gestión, así la información puede transmitirse rápida y eficientemente entre todos los servicios de urgencias [5].

La plataforma tecnológica se basa en un Sistema Integral y sus bloques funcionales, de acuerdo a lo definido en la página del 112 de la Comunitat Valenciana, son [5]:

- Gestión de las comunicaciones.
- Gestión de Mando y Control y automatización de tareas.
- Integración de los diferentes subsistemas.
- Sistemas de respaldo para garantizar el servicio.
- Sistema de información geográfica (SIG).
- Sistema de localización automática de vehículos (AVL).
- Módulo audiomático para avisos masivos a la población u organismos.
- Sistema de información Corporativa (SIC) para información complementaria y valores añadidos.

I.3. REQUISITOS GENERALES DE SISTEMAS DE MANDO Y CONTROL.

Se considera que un sistema C4ISR [6] (*Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance*) avanzado ofrece superioridad para una rápida atención y tiempo de respuesta. De acuerdo al CCRP (*Command and Control Research Programm*) los componentes principales de la arquitectura C4ISR son:

1. Red de información de múltiples sensores robusta, que permita conocer el espacio de operación.
2. Capacidades de gestión avanzada que permitan un despliegue de elementos rápido y flexible.
3. Capacidad de operaciones de información para aventajar la situación a contener.
4. Red de comunicaciones unificada con la capacidad, resistencia y gestión adecuada para asistir los puntos anteriores, así como la gama de requisitos de comunicación entre los elementos que atienden y su superior.
5. Sistema de seguridad de la información, que permita protegerla de interferencias o intrusiones.

Con particular interés en C2 [7] (*command and control*) que siempre se realiza como parte del sistema C4ISR y resulta una función necesaria para concluir alguna misión ya que provee dirección y coordinación. Un buen diseño implica un análisis en tres niveles: propósito (¿por qué?), función (¿qué?) y forma (¿cómo?).

II. SISTEMAS DE EMERGENCIA.

II.1. IMPORTANCIA DE LAS COMUNICACIONES EN LAS EMERGENCIAS.

En su libro, *Logística sanitaria en emergencias*, Carlos Álvarez Leiva define apoyo logístico como: “conjunto de esfuerzos en abastecimientos y suministros para subvenir a las necesidades derivadas durante el desarrollo de una misión” [8]. El mismo autor declara que las comunicaciones “constituyen el elemento vertebral de toda la logística” [8]; esto se debe a que facilitan el contacto y la toma de decisiones en una emergencia, por lo que es de suma importancia su institución y desarrollo.

El uso de comunicaciones y redes de conectividad es de vital importancia cuando se trata de salvar vidas y los primeros momentos son esenciales para tal fin. Al ocurrir una catástrofe existe la posibilidad de que los sistemas existentes fallen y sean ineficientes. Tras una emergencia los cuerpos de intervención inmediata (*first responders*) como policías, rescatistas, bomberos, etc., se

presentan en el área de rescate para mitigar y socorrer y deben contar con sistemas de comunicación ubicuos y robustos.

La importancia de los sistemas de emergencia ha generado varios proyectos, investigaciones y artículos que abordan desde distintos puntos de vista los componentes de dichos sistemas y posibles alternativas. El artículo de investigación “*Ubiquitous robust communications for emergency response using multi-operator heterogeneous networks*” [9] de Alexandros G. Fragkiadakis *et alli* resulta sumamente descriptivo en cuanto a necesidades y propuestas de tecnologías para emergencias.

El artículo comienza describiendo la necesidad de contar con una arquitectura de red flexible, que provea una plataforma común para redes heterogéneas de diversos operadores y diversas áreas para atender las emergencias. Una red inalámbrica de malla (*mesh*) como respaldo en casos de emergencias es una de las alternativas más viables y prácticas.

II.2. APLICACIONES NECESARIAS PARA EMERGENCIAS.

Con base en las experiencias de atención de emergencia y el modo de atenderlas se ha establecido cierto modelo común. Tras recibir una llamada de emergencia se envían a la escena del incidente personal y vehículos de distintas jurisdicciones. Los equipos de rescate deben buscar de inmediato gente que necesite ayuda urgente y, a la vez, configurar comunicaciones para tareas como transmisión de datos a la central correspondiente, obtención de historiales médicos de los heridos, etc. El sistema de comunicación usado debe soportar e integrar de manera eficiente distintas aplicaciones como:

- **Video:**

Para operaciones de respuesta de emergencias, los cuerpos de intervención inmediata a menudo necesitan compartir información vital. Podría necesitarse de transmisión de video en tiempo real al centro de control.

Deben cumplirse requisitos específicos de la red para conseguir una QoS (calidad de servicio) aceptable que depende de la tasa de la trama de video, la resolución y el color. Para situaciones de emergencia se recomienda un mínimo de 10 cuadros por segundo para SIF o SD con retraso de 1 segundo. Para codificación MPEG-2, podría usarse como mínimo una tasa de 1.5 Mbps, mientras que para MPEG-4 es posible utilizar tasas desde 128 Kbps, que suele ser un estándar en enlaces satelitales.

- **Audio/Voz:**

Los parámetros que afectan la calidad de la voz son: correlación de paquetes perdidos (si es cero, es aleatorio el proceso de pérdida), el radio de paquetes perdidos y el tamaño de los mismos puede variar según del tipo de red que se use. Por supuesto, la calidad de la voz también depende del algoritmo de compresión usado.

Los requisitos de ancho de banda pueden variar de acuerdo al tipo de servicio de voz. Para servicios de teleconferencia se requiere 1 Mbps con poca tolerancia al retardo, mientras que para voz sobre teléfono se necesitan únicamente 64 Kbps, con aún menor tolerancia al retardo.

- **PTT (*Push-to-talk*):**

Es una tecnología que permite comunicaciones *half duplex* entre dos usuarios, usando un botón momentáneamente para cambiar la voz de modo de recepción a modo de transmisión. Como características y beneficios encontramos:

- Contacto instantáneo, presionando un botón sin necesidad de marcar números o esperar que se establezca una conexión.
- Llamada de grupo, donde los usuarios pueden formar grupos registrándose en un servicio de grupo PTT. Un usuario puede hablar mientras el resto lo escucha a la vez.
- Ahorro en costos, comparado con servicios de mensajería sobre 3G, un mensaje PTT puede entregarse a múltiples usuarios a la vez.

- **RTT (*Real Time Text messaging*):**

La mensajería de texto es una solución rápida y efectiva para el envío de alertas en caso de emergencias. Los ejemplos típicos de su uso pueden incluir: reportes individuales de acciones sospechosas a la policía, personas afectadas por un desastre comunicándose con sus familiares, autoridades informando al público posibles desastres, etc. Los tipos de mensajería de texto pueden ser SMS, correos electrónicos, mensajes instantáneos, etc. Sus requisitos no son altos, 28 Kbps pueden ser suficientes.

- **Información de localización y estado:**

Durante las operaciones de emergencia, la posición de las víctimas puede llevar a los servicios de emergencia a proveer soporte medico inmediato. La información de localización puede obtenerse mediante distintas tecnologías, por ejemplo, se espera que las redes 4G provean información de localización más certera que las 3G que se basan únicamente en tecnología GPS. Dispositivos más simples como las etiquetas RFID (identificación por radiofrecuencia) pueden proveer información

de la ubicación no solo de heridos sino del personal médico y el equipamiento. Actualmente, se usa tecnología GPS para información en el exterior, mientras que sistemas basados en WiFi, o las etiquetas RFID se usan en interiores. En el ámbito de la UE se prevé en breve la disponibilidad del sistema de localización GALILEO, específicamente orientado y adecuado a los sistemas de gestión de emergencias.

La información de estado se refiere a la situación de diversos tipos de objetos dentro de un área de jurisdicción. Por ejemplo, en operaciones de seguridad pública, una red de sensores puede transmitir información referente a la temperatura del ambiente, nivel del agua, etc. En operaciones de emergencia, etiquetas RFID localizadas en personas heridas por el personal médico, puede clasificarlos dependiendo de su criticidad.

- ***Broadcasting y multicasting:***

Broadcasting se refiere a la capacidad de transmitir información a todos los usuarios, mientras *multicasting* es la de enviarla a un grupo de usuarios. Ambas funcionalidades, si son soportadas por la tecnología, pueden mejorar la seguridad pública y las operaciones de rescate.

II.3. ***TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA EMERGENCIAS.***

Los autores [9] también enlistan las posibles tecnologías a ser usadas para comunicaciones de emergencias, entre ellas se encuentran:

- **Redes celulares:**

Dicha tecnología se introdujo en 1981 con los sistemas de 1G. Desde entonces, prácticamente cada década, una nueva generación aparece caracterizada por nuevas frecuencias, tasas de transmisión mayores y compatibilidad con las tecnologías que le preceden. Después de 1G que estaba dedicado a comunicaciones de radio móviles análogas, 2.5G ofreció comunicaciones digitales con tasas de transmisión superiores a los 115Kbps y 2.75G ofreció más de 236.8 Kbps. Hoy en día, las tecnologías 3G pueden ofrecer poco más de 2 Mbps de ancho de banda para usuarios estáticos y más de 384 Kbps para usuarios en movimiento. Tienen una tasa amplia de cobertura, lo que permite mucha movilidad.

3G son redes IP que ofrecen funcionalidades sobre IP integradas que son independientes del sistema de acceso usado. UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) es una de las tecnologías 3G más utilizadas. Tecnologías nuevas como HSPA/3.5G pueden proveer más de 14Mbps.

Las redes celulares pueden proveer servicios valiosos en caso de desastres, pero solo si están disponibles. Para caso de emergencias podría usarse MBMS (*Multimedia Broadcast/Multicast Service*) que es un servicio relativamente nuevo que soporta *broadcast* y *multicast* sobre redes UMTS. El DVB-H (*Digital Video Broadcasting-Handheld*) y DAB (*Digital Audio Broadcasting*) que puede proveer video de alta velocidad y servicios de audio sobre infraestructuras 3G, podría también usarse en emergencias.

Sin embargo, en grandes desastres, los servicios de redes celulares suelen dejar de estar disponibles, porque su infraestructura centralizada las hace vulnerables a amenazas como corriente eléctrica, daños físicos de las estaciones base, etc.

- **Comunicación satelital:**

Los satélites son las únicas infraestructuras que no son sensibles a daños de desastres, dado que los repetidores principales de las señales de transmisión y recepción se encuentran fuera de la atmósfera terrestre. Son inmunes a la congestión, lo que provee cobertura en áreas escasamente pobladas donde no existen estaciones celulares o facilidades de comunicación. Las comunicaciones satelitales pueden proveer transmisión de datos a gran velocidad y conferencias de video que se usen en caso de emergencias.

La tecnología VSAT (*Very Small Aperture Terminals*) se ha vuelto muy popular para servicios satelitales IP proporcionando datos en tiempo real. Sin embargo, la tecnología VSAT tiene deficiencias como tasas de transmisión asimétricas y el costo y peso de los equipos. Los equipos pueden ser usados únicamente por un número limitado de personal entrenado, así que no están disponibles para uso masivo de particulares.

- **TETRA (TErrestrial Trunked RAdio):**

Es una de las tecnologías más importantes de radio móvil personal usado para operaciones de respuesta a emergencia y seguridad pública. El mercado de TETRA se ha expandido a más de 88 países. Sus ventajas incluyen alta eficiencia espectral, rápido establecimiento de llamada, flexibilidad de comunicación de uno a uno, uno a muchos o muchos a muchos. Tiene dos modos de operación:

- **TMO (*Trunked Mode Operation*):** La operación recae en una infraestructura celular fija y privada que hace uso de estaciones base (BS). La red asigna canales y transporta señales radio entre los usuarios. De manera similar a las infraestructuras 3G, TETRA-TMO por su naturaleza centralizada, puede verse limitada e interrumpida en grandes desastres si alguno de sus nodos esenciales falla.

- **DMO (*Direct Mode Operation*):** Permite la comunicación directa entre los nodos móviles tetra (TMNs) sin necesidad de usar la infraestructura celular fija. DMO permite a los nodos comunicarse, si se desea, de modo encriptado usando TDMA y mecanismos propietarios. Sin embargo la cobertura de los usuarios es limitada. Además, las tasas de transmisión de TETRA codificado varían de 2.4 a 7.2 Kbps. Todas las llamadas son *half duplex*, soportando únicamente hasta 2 llamadas por frecuencia portadora; limitando la expansión de la red en término de número de usuarios activos a la vez.

- **WIFI (*Wireless Fidelity*):**

La evolución de WiFi la ha convertido el principal medio de comunicación para acceso a Internet de varios Mbps. Miles de puntos de acceso IEEE 802.11 sirven a millones de usuarios en diversos espacios públicos. Sobre las tasas de transmisión, IEEE 802.11b puede ofrecer hasta 11Mbps mientras que 802.11a/g hasta 54Mbps.

Sin embargo, dado que WiFi usa bandas de transmisión del ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) y la proliferación de dicha tecnología, las interferencias entre dispositivos transmitiendo en canales cercanos pueden ocurrir con mucha frecuencia. Por tal razón, la potencia de transmisión de las antenas está regulada de manera que WiFi provee poca cobertura para evitar interferir con redes inalámbricas cercanas limitándola a 200 m.

- **WIMAX (*World Wide Inter-operability for Microwave Access*):**

WiMAX es el nombre con el que se relaciona el protocolo IEEE 802.16. Usa partes licenciadas del espectro, ofreciendo ancho de banda con acceso inalámbrico hasta 50 km para estaciones fijas y hasta 15 km para las móviles. En la arquitectura de red típica WiMAX, se cuenta con una red de acceso y servicio (ASN) que comprende las estaciones bases (BS) y un *gateway* (ASN-GW). El ASN-GW provee funcionalidades como la administración y localización entre ASN, control de admisión, autenticación, autorización y contabilidad de clientes (AAA), etc. La red de núcleo (CN) provee conectividad a Internet o a redes públicas o corporativas.

Los dispositivos que tienen habilitado WiMAX pueden alcanzar tasas de transmisión de hasta 63 Mbps dentro de un radio de celda de 5 km. El uso de femtoceldas (pequeñas BSs) habilitadas para WiMAX es extiende continuamente, y su uso incrementa considerablemente su desempeño y cobertura.

WiMAX tiene una infraestructura centralizada, por ello, en caso de grandes desastres, varios componentes pueden convertirse en puntos únicos de falla, con riesgo de quedar inoperable en caso de emergencias.

II.4. ARQUITECTURAS DE RED PARA OPERACIONES DE EMERGENCIA.

Las tecnologías actuales tienen ciertas deficiencias que han promovido esfuerzos significativos por parte de la comunidad de investigación para definir nuevas arquitecturas para seguridad pública y respuesta a emergencias, pueden clasificarse en tres categorías: ad hoc, *mesh* e híbridas (*mesh* y ad hoc).

En general, al no depender de una infraestructura de red centralizada, las arquitecturas *mesh* y ad hoc pueden proveer comunicaciones robustas y confiables. Una red móvil ad hoc (MANET por sus siglas en inglés) es un grupo de nodos inalámbricos que se auto organizan dinámicamente en topologías de red temporales y arbitrarias. Las ventajas de estas tecnologías es que los nodos de comunicación pueden ser interconectados (dentro de sus rangos de transmisión de radio) sin necesidad de una infraestructura pre-existente.

Las redes *mesh* se componen de dos elementos fundamentales: Los *routers* y los clientes. Los clientes *mesh* se conectan con *routers mesh*, que se conectarán a su vez con otros formando una arquitectura de múltiples saltos. Los *routers* pueden estar equipados con varias antenas y radios, aumentando así la eficiencia espectral y proporcionando una calidad de servicio aceptable al reducir las interferencias, tanto internas como externas, de canal. Además, los *routers mesh* pueden actuar como puertas de enlace y conectarse a otras redes. Las redes *mesh* tienen muchas ventajas tales como bajos costos iniciales, mantenimiento sencillo de la red, robustez, provisión de servicio confiable, gran cobertura, etc.

Hay autores que consideran las redes inalámbricas *mesh* la clave de la solución en aplicaciones rurales y de emergencia. MITOC es un sistema comercial disponible a la venta, que incluye diferentes tipos de nodos y funcionalidades, como terminales de comunicación satelital, BSs de radio, inter operación de radios basados en IP, un *switch* para teléfonos VoIP, etc. También se han propuesto redes *mesh* para asistencia en operaciones de emergencia aérea, formando redes en el cielo con clientes *mesh* ubicados en globos. La comunicación entre los globos usa el protocolo IEEE 802.11j mientras que la comunicación hacia el equipo en tierra usa el IEEE 802.11b/g.

El despliegue de MANETs con grandes anchos de banda, robustas y auto organizadas puede permitir respuestas más rápidas durante las operaciones de emergencia. Sin embargo, también hay propuestas de arquitecturas ad hoc para coordinación de emergencias médicas. Consisten en un subconjunto de varios dispositivos que comparten una relación de confianza común y proveen una red segura, transparente y auto administrada construida por varias redes heterogéneas. Otra propuesta es la de una arquitectura de red ad hoc de banda ancha, con optimizaciones hechas a protocolos actuales a fin de soportar requisitos críticos.

Muchas otras arquitecturas no se basan únicamente en ad hoc o *mesh*, en lugar de eso, combinan diversas tecnologías. La propuesta GeoBIPS, es una arquitectura mixta *mesh* y ad hoc para

servicios de emergencia. Usa una cámara y un servidor de video para enviarlo en tiempo real desde un sitio de desastre a los cuarteles centrales mediante una red *mesh*.

Otra propuesta híbrida ad hoc y satelital con Internet convencional es DUMBONET, el equipo de radio de los cuerpos de intervención inmediata en cada sitio de desastre forma una red ad hoc que es posteriormente interconectada al cuartel general vía satélite. La red GAN (*Generalized Network Architecture*) interconecta diversas redes heterogéneas (TETRA, UMTS, *mesh*, etc.).

En el mismo artículo, Fragkiadakis y los demás proponen una arquitectura de red de comunicaciones para respuesta a emergencias (ERCN por sus siglas en inglés) basada en redes de comunicación públicas y redes privadas. ERCN interconecta dispositivos de red basados en tecnologías heterogéneas. El componente central de dicha arquitectura es una WMN (*wireless mesh network*) que puede ser, o bien creada durante la emergencia, o una red pre existente usada para operaciones cotidianas que se cambia a un modo de emergencia cuando es necesario. Las redes ERCN que pueden interconectarse en situaciones de emergencia pueden clasificarse en:

- **Redes de comunicaciones públicas:** En general pueden clasificarse en dos categorías. OINs (*Operator Interest Networks*) que son utilizadas por los principales operadores privados, siguiendo un esquema de facturación específico para la provisión de servicios. Son heterogéneos por naturaleza y pueden incluir tecnologías WiMAX, WiFi y 3G. Por otro lado se encuentran las PINs (*Public Interest Networks*) que dependen de autoridades municipales o gubernamentales, se utilizan normalmente para proveer comunicaciones entre las autoridades públicas así como acceso inalámbrico de banda ancha para el público en general. La tecnología suele ser WiFi con puntos de acceso inalámbricos y una red de retorno IP cablead, así como WMNs en varias ciudades.
- **Redes de comunicación privadas:** La proliferación de Internet en la última década ha sido impresionante, los bajos costos de suscripción y de los equipos, el aumento de dispositivos *smart* y el avance en las tecnologías han contribuido a un acceso de Internet de banda ancha ubicuo. Especialmente en las viviendas, la tecnología ADSL ha simplificado la conectividad de red, ofreciendo tasas de transmisión y recepción de varios Mbps, lo que hace a millones de domicilios estar en línea 24 horas. Además, los puntos de acceso WiFi en el hogar, proveen un medio conveniente para conectar diversos dispositivos entre si y hacia Internet por medio de la línea ADSL. Avances recientes como las femtoceldas proveerán incluso mayor flexibilidad y desempeño casero al converger diversas tecnologías como trafico móvil 3G sobre ADSL o WiMAX sobre ADSL. Dichas facilidades de interconexión son las redes de comunicaciones privadas (PCN) que pertenecen y son manipuladas por individuos independientes.

Los recursos PCNs serán de gran valor si se utilizan durante una emergencia por ERCN. Dado que partes de los OINs y PINs se basan en infraestructura son altamente vulnerables en caso de grandes desastres. En estos casos PCNs pueden volverse “islas de conectividad”, uniendo partes de OINs y PINs, y permitiendo conectividad al mundo exterior.

II.5. ARQUITECTURA ERCN.

ERCN es una arquitectura de red que se construye al momento en caso de emergencias. Interconecta varios tipos de redes a través de una WMN. La siguiente figura muestra una vista general de un ejemplo de ERCN, que consiste en dos OINs, un PIN y dos PCNs, interconectadas a través de la WMN. ERCN puede proveer una ruta alternativa, encaminando el tráfico de esas redes a través de la WMN. La WMN juega un papel trascendental en la ERCN, proporcionando interconexión entre redes heterogéneas de distintos proveedores.

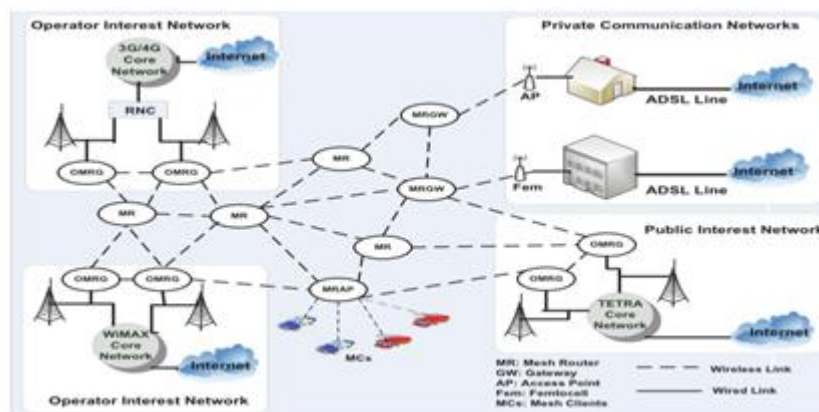


Fig. 1. Arquitectura ERCN [9].

WMN es la esencia de las ERCN que puede ser diseñada, desplegada y mantenida de acuerdo a distintas políticas. En primer lugar, la WMN puede ser una red inalámbrica dedicada para usarse únicamente en emergencias. Dado que grandes desastres no ocurren frecuentemente, para solventar los costos de despliegue y mantenimiento se propone una WMN metropolitana que se use en principio para operaciones diarias y en caso de ocurrir una emergencia, trabaje en la modalidad necesaria para formar la ERCN.

Las operaciones diarias pueden cubrir una amplia gama de servicios como operaciones de seguridad pública (videos de vigilancia, sensores de niveles de agua y temperatura, etc.), *e-governance*, *e-health*, entretenimiento público, etc. Una WMN pre instalada no impide que en caso de emergencias puedan añadirse dispositivos *mesh*. De hecho, dado que las WMNs son en general redes auto adaptables gracias a sus mecanismos centrales, los nodos *mesh* pueden desplegarse y conectarse a la WMN según sea necesario.

Channa y Ahmed en su artículo "*Emergency response communications and associated security challenges*" [10] realizan propuestas de arquitecturas y modelos para atención a emergencias por medio de tecnologías de inteligencia ambiental (AmI por sus siglas en inglés), las cuales proveen a los usuarios servicios adaptativos y de asistencia considerando un gran número de dispositivos inter operativos como sensores, actuadores y otros que almacenen, procesen e intercambien datos, esto se muestra en la siguiente figura.

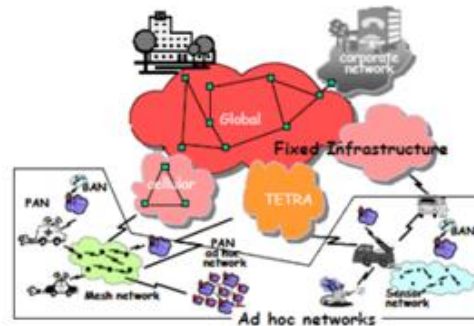


Fig. 2. Arquitectura propuesta por Channa y Ahmed [10].

Hospitales, patrullas, ambulancias, bomberos y paramédicos se conjugan en un único equipo virtual que realiza operaciones de atención a desastres. El sistema usa como medios de comunicación redes de área corporal BAN (*Body Area Network*), de área personal PAN (*Personal Area Network*), *mesh*, ad hoc, de sensores, celulares, TETRA y globales. La información debe fluir a través de redes heterogéneas administradas por distintas entidades. Es posible que algunos nodos obtuvieran información confidencial o generaran datos falsos, lo que hace imprescindible contar con mecanismos de privacidad y autenticación en estos escenarios.

Existen diversos proyectos referentes a los sistemas de comunicación para emergencias, como es el caso de DUMBONET (*Digital Ubiquitous Mobile Broadband OLSR Network*), que posee en cada sitio redes móviles ad hoc para la comunicación, con nodos como PDAs o computadoras portátiles. El sistema permite el uso de video, voz y mensajes cortos y la conectividad entre el sitio de desastre y el cuartel general se hace por medio de un enlace satelital.

SAFIRE (*Self-organizing Ad hoc network for First REsponders*) es un esquema propuesto para facilitar el intercambio de información entre cuerpos de intervención inmediata. La comunicación es por medio de radio.

En general, todos los diseños de los sistemas de comunicación en situación de emergencia comprenden 4 tipos de red de información: de área personal (PAN), de área de incidente (IAN), de área de jurisdicción (JAN) y de área extendida (EAN). Como se representa en la siguiente figura, las PAN interconectan dispositivos individuales de los equipos de rescate, la IAN se establece temporalmente en el sitio del incidente entre los cuerpos de intervención inmediata, JAN es una red permanente instalada por autoridades para seguridad pública o para conectividad de área amplia y

EAN provee conectividad de área amplia entre diversas redes de seguridad (regional, estatal y nacional).

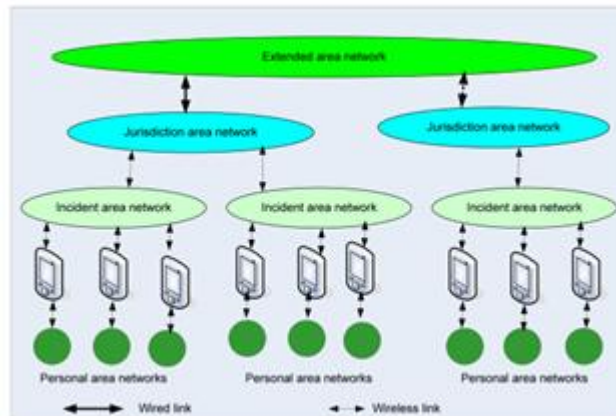


Fig. 3. Redes de información en sistemas de emergencias [10]

Otro proyecto, perteneciente al *Seventh Framework Programme* (FP7) y referente a las tecnologías de emergencias es la plataforma E-SPONDER. Incluye tecnologías y aplicaciones centradas en datos en tiempo real para proveer información para responder a eventos críticos. El proyecto se basa en fusionar datos de distintos campos en un sistema central, lo que permitirá el análisis de la información y el uso de aplicaciones de apoyo de decisiones en centros de control para asistir a los cuerpos de acción inmediata.

III. ESTADO DEL ARTE.

III.1. NIVELES DE OPERACIÓN DE SISTEMAS DE EMERGENCIA.

En la presentación genérica del proyecto E-SPONDER [11] se plantean, en primer lugar, 3 niveles de operación:

- **Estratégico:** Centro Operativo de Emergencias (EOC en inglés). Al tener una visión estratégica es responsable de planificar respuestas, unificar datos, administrar comunicaciones, bases de datos, el portal E-SPONDER y GIS (Sistema de Información Geográfica).
- **Táctico:** EOC Móvil (MEOC). Se encarga de la coordinación de respuestas, la interoperabilidad de sistemas de comunicación y es la base de operaciones en campo, haciendo réplicas de datos unificados y GIS.
- **Operativo:** Unidad de acción inmediata (FRU). Cuenta con sensores físicos y ambientales, sistemas y aplicaciones de comunicación y sistemas de posicionamiento.

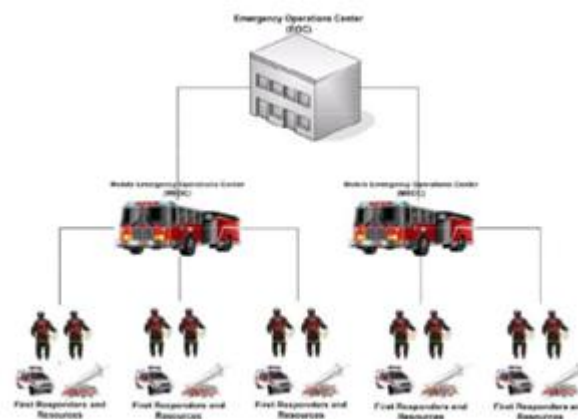


Fig. 4. Niveles de operación del proyecto E-SPONDER.

Las comunicaciones a nivel operativo deben ser flexibles, entre las tecnologías propuestas para uso se encuentran Bluetooth, WiFi, 3G/UMTS, GSM/GPRS y WiMAX.

A nivel táctico se necesita de un sistema autónomo que permita interoperabilidad, entre las tecnologías disponibles se encuentran 3G/UMTS, WiFi/WSN, WiMAX, WPAN, VHF/UHF, TETRA y satélite.

Por último, a nivel estratégico, es necesaria la integración de datos. Para sus enlaces se propone 3G/UMTS, WiFi, WiMAX, VHF/UHF, TETRA y satélite.

La comunicación es jerárquica y, nuevamente, a tres niveles, el de FRU, el de MEOC y el de EOC, con conexiones punto a punto o multipunto.

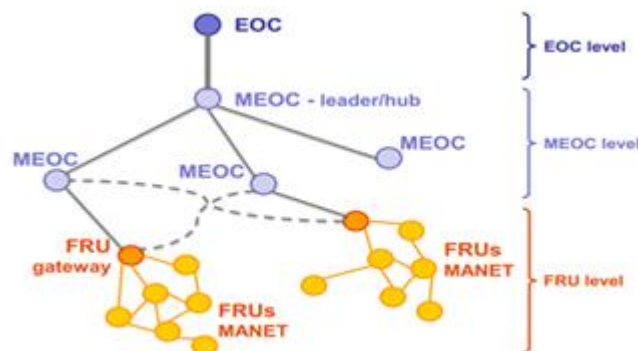


Fig. 5. Niveles de comunicación proyecto E-SPONDER.

La arquitectura de red jerárquica de E-SPONDER comprende 3 redes:

- **Red de área de incidentes (IAN):** Red temporal, creada por los MEOC, permite intercambio de datos entre los usuarios y MEOC.
- **Red de área de jurisdicción (JAN):** Red principal de emergencias, hace uso de infraestructura fija y permite la administración del tráfico de IAN.

- **Red de área extendida (EAN):** Es el núcleo para los cuerpos de acción inmediata, IAN y JAN. Se propone el uso de redes de fibra óptica.

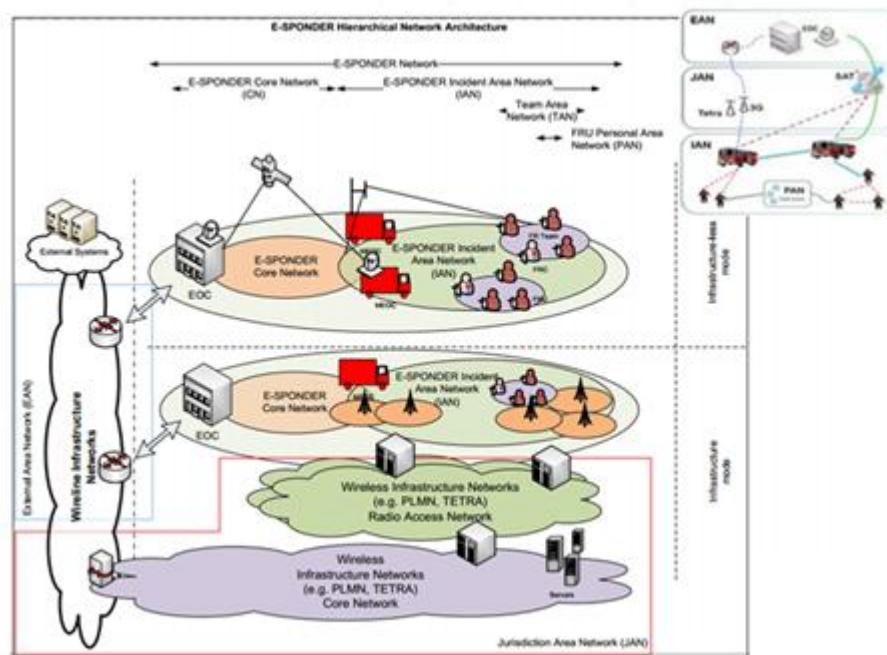


Fig. 6. Arquitectura de red jerárquica del proyecto E-SPONDER.

III.2. TECNOLOGÍAS PROPUESTAS PARA SISTEMAS DE EMERGENCIA.

Las redes de comunicaciones de emergencias deben ser flexibles, aumentables y abiertas, deben proveer conexiones confiables y basarse en tecnologías de acceso vía radio. Dentro del proyecto E-SPONDER, Maurizio Casoni [12] realizó propuestas de arquitecturas y tecnologías de red para dicho propósito.

El enlace troncal vía satélite, la IAN en forma *mesh* o de estrella, en PAN sensores inalámbricos y en JAN infraestructuras fijas. EAN es la red principal para JAN.

Las tecnologías inalámbricas propuestas son:

- MEOC-EOC (satélite): DVB-RCS para enlace satelital *full duplex*.
- IAN: La familia IEEE 802.11 para acceder a la red e IEEE 802.16 para comunicaciones entre IAN (MEOC-a-MEOC).
- EAN/JAN: Como respaldo 3G/LTE, 2.5G, TETRA o cualquier infraestructura cableada accesible.
- PAN: IEEE 802.15.1 (Bluetooth) e IEEE 802.15.4 (ZigBee) para los sensores inalámbricos que recolectan datos.

Las arquitecturas propuestas son 3:

- Estrella: Con DVB-RCS para la red troncal en primer nivel e IEEE 802.11 para el segundo.

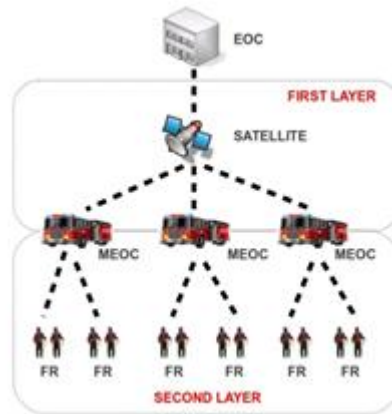


Fig. 7. Arquitectura de estrella. [12]

Esta arquitectura será simple de administrar, sin embargo, al contener múltiples puntos de fallo no es tolerante ni robusto.

- *Mesh*: DVB-RCS para el enlace troncal de MEOC, DVB-RCS NG para *mesh* satelital entre MEOC, IEEE 802.16 para enlaces inter MEOC terrestres e IEEE 802.11s para comunicación entre FRUs.

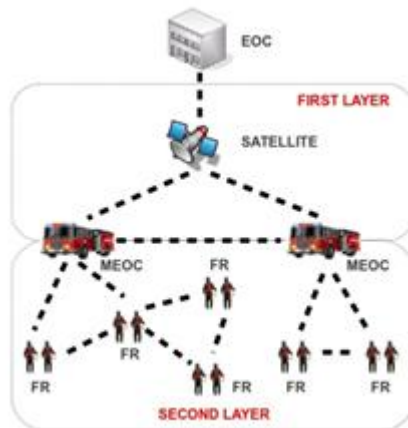


Fig. 8. Arquitectura *mesh*. [12]

Es tolerante a fallos, robusto y permite comunicación peer-to-peer entre los integrantes del cuerpo de acción inmediata. Tanto su implantación como la de técnicas de calidad de servicio y seguridad son más complejas.

- Híbrida: Equilibra las dos arquitecturas anteriores, usando *mesh* en el primer nivel y algo parecido a una estrella en el segundo. Se propone DVB-RCS y DVB-RCS NG para el enlace principal en el primer nivel. IEEE 802.16 para enlaces inter MEOC, IEEE 802.16/11 para el enlace SN-MEOC e IEEE 802.11 para enlaces entre FR.

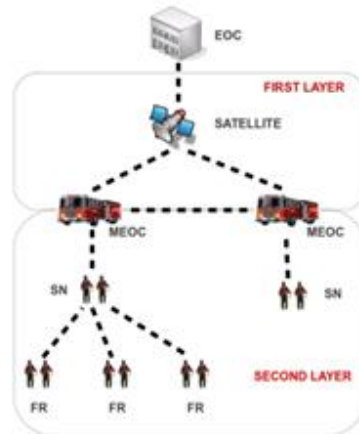


Fig. 8. Arquitectura híbrida. [12]

Es la propuesta más convincente, es más sencilla de implementar que la *mesh*, es posible introducir redundancia de enlaces con otras tecnologías y, aunque SN es un punto de falla, es posible introducir SNs casi fijos, en lugar de personas equipadas, para mayor seguridad.

Casoni plantea, finalmente, como tecnologías para los sistemas de emergencia partiendo de los MEOC:

- DVB-RCS como red troncal hacia EOC.
- WiMAX para la red *mesh* entre MEOC.
- WiFi para la red *mesh* de los FRU.
- 802.15.x para los sensores
- TETRA, 2.5, 3G/LTE como tecnologías alternas.

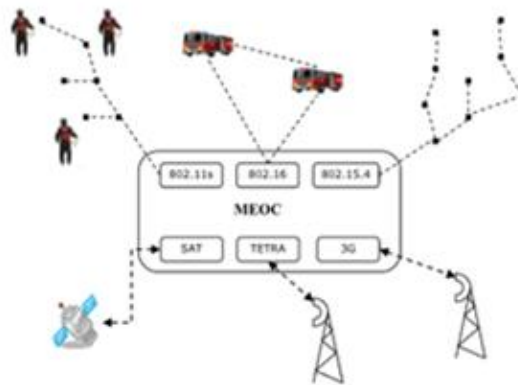


Fig. 9. Resumen de tecnologías propuestas por Maurizio Casoni.

Está claro que existen diversas propuestas, visiones y perspectivas para abordar un tema de importancia tal como los sistemas de emergencia, sin embargo, todas coinciden en la necesidad de tener redes confiables, que se construyan al momento de la emergencia y que sean capaces de soportar las aplicaciones que satisfagan una eficiente atención a la urgencia.

Este trabajo pretende comparar, por medio de simulaciones, algunos protocolos y tecnologías existentes con el objeto de poder definir la mejor propuesta para usar en los tres niveles de los sistemas de emergencia en la arquitectura híbrida propuesta por Casoni.

IV. EVALUACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS PROPUESTAS.

IV.1. SIMULADOR NS-2.

El ISI (*Information Sciences Institute*) [13] define al NS-2 como un simulador de eventos discretos orientado a la investigación de redes, ya que provee soporte a simulaciones de TCP y ruteo sobre redes tanto cableadas como inalámbricas.

Su uso está muy extendido en el ámbito educativo y en el de la investigación, dado que permite comparar topologías y protocolos existentes e incluso crear nuevas propuestas en un ambiente controlado que ofrece resultados confiables a un bajo coste.

Para este trabajo se ha hecho uso del simulador a fin de comparar y decidir la tecnología más eficiente para los sistemas de emergencia en sus distintos niveles: red *mesh* para los FRU, enlace SN-MEOC, enlaces inter MEOC y el enlace principal hacia el EOC.

La versión utilizada del simulador fue la 2.35, y se agregaron los módulos correspondientes a *mesh* con protocolo IEEE 802.11e, desarrollado por el *Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione* de la Universidad de Pisa y la *School of Electrical and Computer Engineering* del Instituto de Tecnología de Georgia [14] y el módulo para IEEE 802.11d, desarrollado por el *National Institute of Standards and Technology* (NIST) [15].

IV.2. SIMULACIONES PLANTEADAS.

La simulación se realizó por niveles, comparando en cada uno distintas tecnologías, tal como se muestra en la siguiente tabla:

NIVEL	CARACTERÍSTICAS	TECNOLOGÍAS COMPARADAS
FRU	Red <i>mesh</i> compuesta por ocho nodos móviles en un área de 1km ² .	IEEE 802.11b (WiFi). IEEE 802.16e (WiMAX móvil).
SN-MEOC	Enlace punto a punto, compuesta por dos nodos estáticos en el área de máximo alcance de cada tecnología.	IEEE 802.11b (WiFi). IEEE 802.11d (WiMAX).
MEOC	Red <i>mesh</i> compuesta por 3 nodos estáticos en un área de 1km ² .	IEEE 802.11b (WiFi). IEEE 802.11d (WiMAX).
EOC	Enlace punto a punto, compuesto por dos nodos estáticos.	TETRA. SAT. 3G.

Tabla 1. Resumen de simulaciones realizadas.

En todos los casos la simulación consistió en dos flujos FTP/TCP, que fueron enviados durante 240 segundos, de los resultados obtenidos se analizaron dos conceptos: *throughput* y *delay*. El *throughput* [16] se refiere a la cantidad máxima de datos útiles que pueden enviarse efectivamente en una unidad de tiempo, mientras que el *delay* se relaciona con la diferencia del momento en el que un dato fue enviado por una fuente y en el que se recibió.

Para obtener tales resultados, se analizó la información obtenida en cada simulación y se comprobó la cantidad de datos efectivos enviados, independientemente de la capacidad teórica del enlace, y los retrasos en su recepción.

IV.3. ENLACE MESH FRU.

Como se ha mencionado anteriormente, se simularon dos redes *mesh* conformadas por 8 nodos móviles cubriendo un área de 1km². Se enviaron datos TCP por medio de FTP durante 240 segundos en enlaces WiFi (IEEE 802.11b) y WiMAX móvil (IEEE 802.16e), los resultados del *throughput* y el *delay* se muestran a continuación en las siguientes gráficas.

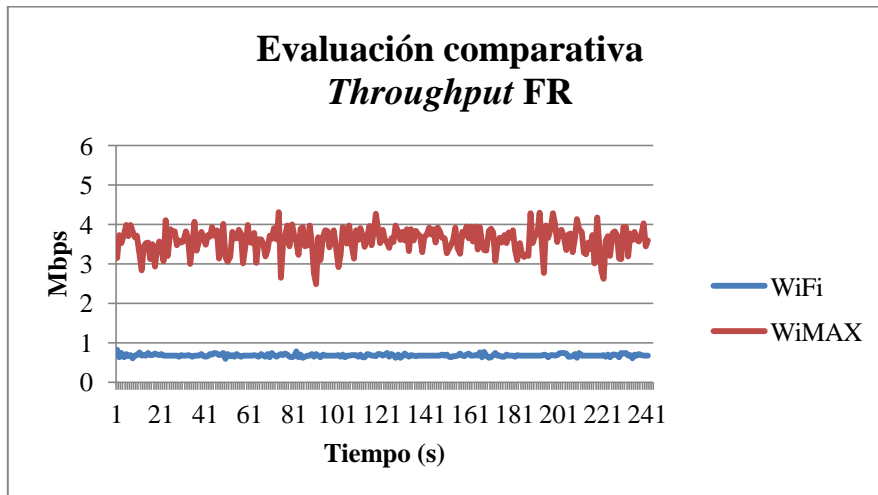


Fig. 10. Comparación del *throughput* entre WiFi y WiMAX en nivel FRU.

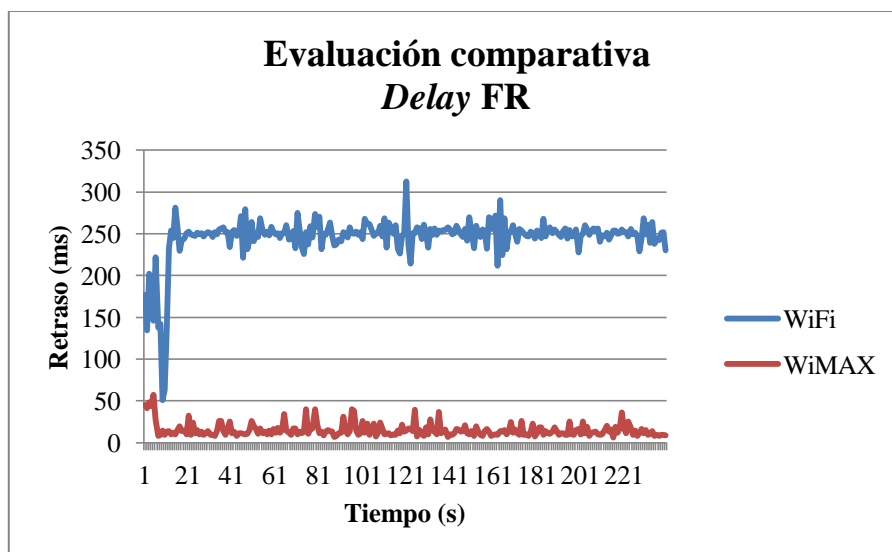


Fig. 11. Comparación del *delay* entre WiFi y WiMAX en nivel FRU.

Es posible apreciar que la tasa efectiva promedio de WiMAX es más de cinco veces mayor a la ofrecida por WiFi, mientras que el *delay* promedio es 16 veces mayor en WiFi durante el tiempo de simulación.

IV.4. ENLACE SN-MEOC.

Este enlace permite la comunicación entre el nivel de FRU y MEOC, la arquitectura híbrida propone SNs estáticos que transmitan la información hacia un punto MEOC determinado. En este caso la simulación se realizó con dos nodos estáticos transmitiendo tanto por enlaces WiMAX (IEEE 802.16d) como WiFi (IEEE 802.11b).

Cabe destacar que, con fines de colocar únicamente dos nodos, se colocaron las terminales a las máximas distancias permitidas por el simulador, de acuerdo a las capacidades de las tecnologías, en

el caso de WiFi, la distancia fue de 150 metros, mientras que en el caso de WiMAX fue de 500 metros.

Con esta información se obtuvieron los siguientes resultados durante los 240 segundos de transmisión de datos en la simulación:

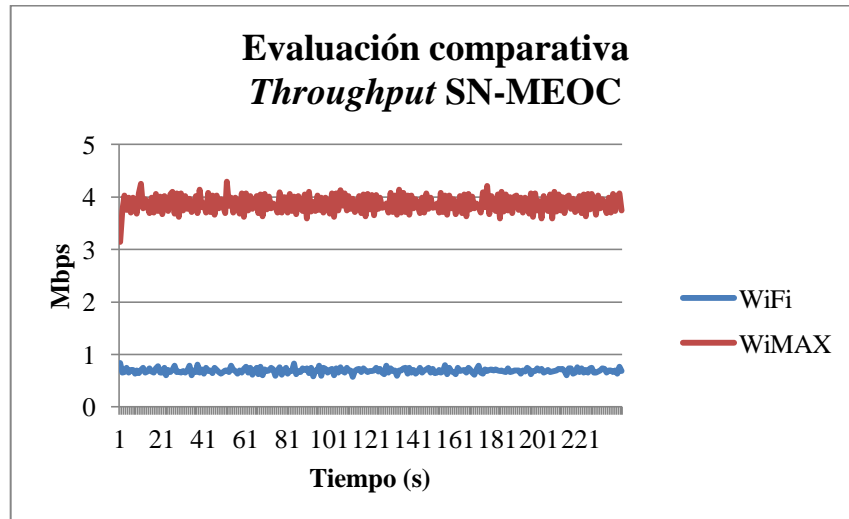


Fig. 12. Comparación del *throughput* entre WiFi y WiMAX en enlace SN-MEOC.

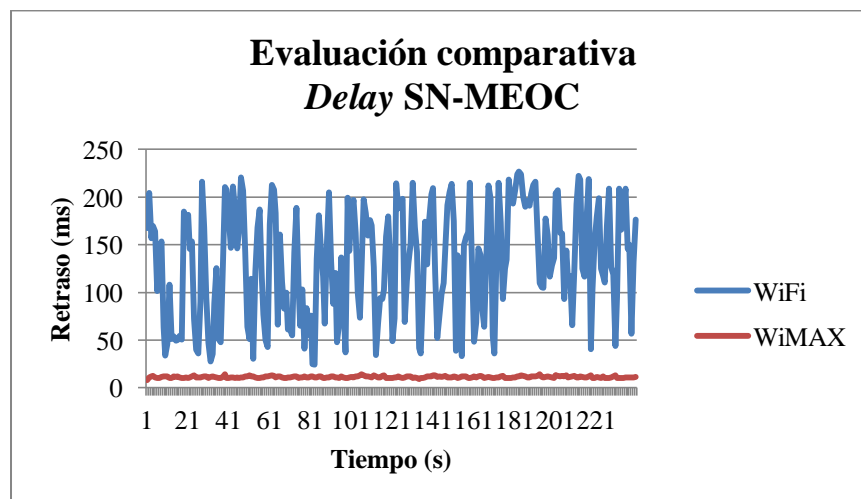


Fig. 13. Comparación del *delay* entre WiFi y WiMAX en enlace SN-MEOC.

Nuevamente puede destacarse la diferencia entre ambas tecnologías; el *throughput* de WiMAX es nuevamente más de 5 veces mayor al de WiFi, con un promedio de 3.86 Mbps contra 690.73 Kbps; el *delay* promedio de WiFi es de 131.76 ms, once veces mayor a los 11.34 ms de WiMAX.

Hay que tener en cuenta la distancia entre los nodos en caso de requerir alcanzar distancias mayores. Se realizaron simulaciones aumentando el número de nodos, y se puede apreciar para

ambas tecnologías la siguiente tendencia en cuanto aumento del *delay* y disminución del *throughput* conforme aumenta el número de nodos.

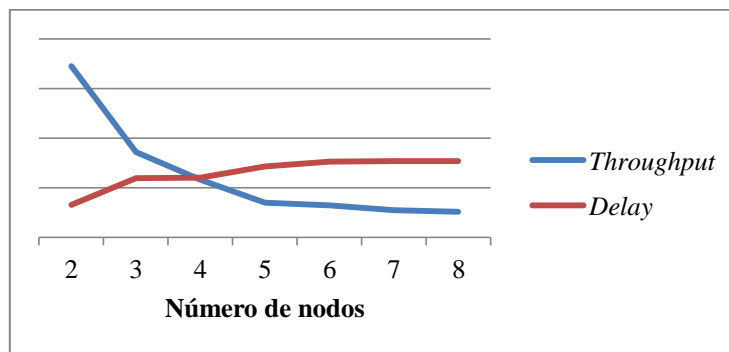


Fig. 14. Tendencia de resultados relacionada al número de nodos.

Bajo dicha tendencia podemos destacar otra característica importante, dado que es posible alcanzar mayores distancias con un número menor de nodos en el caso de WiMAX que en el de WiFi; los 500 metros obtenidos con 2 nodos en WiMAX se traducen en 5 nodos en WiFi, que muestran en las simulaciones un *throughput* promedio de 140.29 Kbps, que resulta 27 veces menor al *throughput* promedio obtenido con únicamente 2 nodos WiMAX, y un *delay* 25 veces mayor, siendo en promedio de 286 ms.

IV.5. ENLACE MESH MEOC.

El nivel MEOC está compuesto por una serie de nodos MEOC conectados en *mesh* hacia un nodo que funciona como líder (Fig. 5). En este caso la simulación se hizo considerando 3 nodos MEOC en *mesh* y un concentrador, utilizando nuevamente tecnologías WiMAX y WiFi.

Los nodos se consideran estáticos y en las simulaciones se utilizaron los protocolos IEEE 802.11b para WiFi y el IEEE 802.16d para WiMAX. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

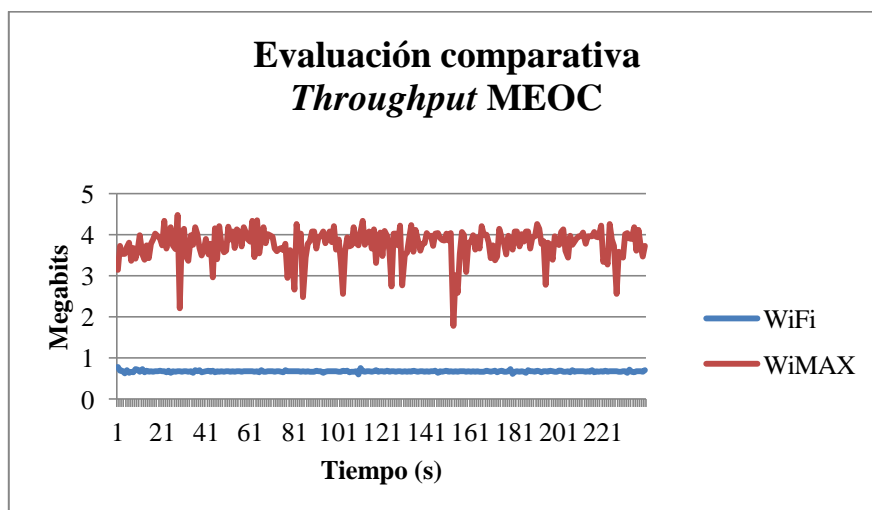


Fig. 15. Comparación del *throughput* entre WiFi y WiMAX en la red *mesh* MEOC.

Los resultados muestran nuevamente una indiscutible superioridad en el *throughput* de WiMAX sobre el de WiFi. El promedio en el primer caso es de 3.77 Mbps, 5.6 veces mayor a los 673.40 Kbps de WiFi. En cuanto al *delay*, los resultados se muestran en la siguiente gráfica:

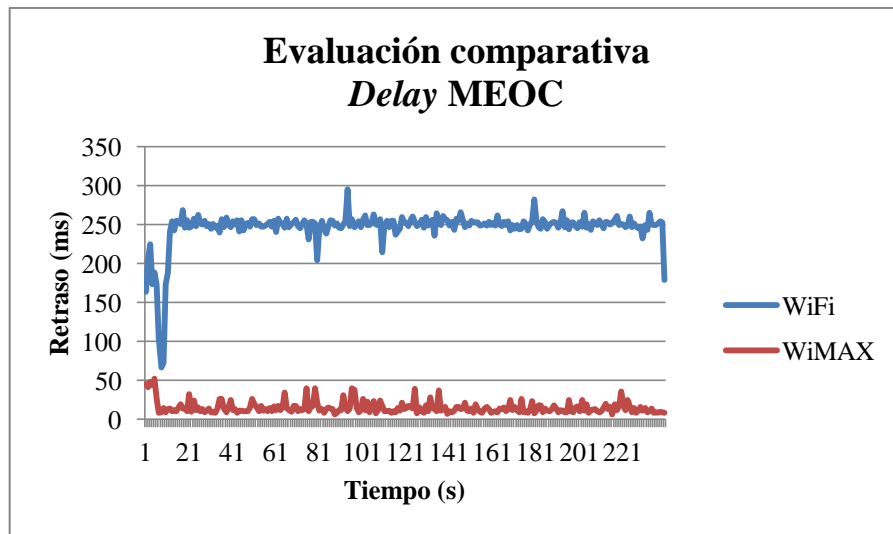


Fig. 16. Comparación del *delay* entre WiFi y WiMAX en la red *mesh* MEOC.

En el caso de WiFi el *delay* es 16 veces mayor al de WiMAX, al tener una media de 246.47 ms, frente a los 14.89 ms que se observan en el comportamiento de IEEE 802.16d.

IV.6. ENLACE TRONCAL HACIA EOC.

Por último se realizaron simulaciones para comparar distintas tecnologías que permitieran el enlace troncal de la primera capa, hacia el EOC. En este caso se consideraron tres tecnologías: enlace satelital, 3G y TETRA. La simulación se realizó con dos nodos estáticos transmitiendo punto a punto en las distintas tecnologías.

Los enlaces se simularon con los valores que traen por defecto los escenarios de simulación desarrollados para NS-2 por Andrei Gurtov, de la Universidad de Helsinki [17]; para el enlace satelital la comunicación es simétrica con 2 Mbps en ambos sentidos y un retraso de propagación de 250 ms, en el caso de TETRA el enlace es asíncrono, con una subida de 10 Kbps y una bajada de 30 Kbps, con retraso de propagación de 100 ms; finalmente, el enlace 3G simulado tiene una subida de 384 Kbps, una bajada de 64 Kbps y un retraso de 150 ms en la propagación.

En este caso, los resultados fueron los siguientes:

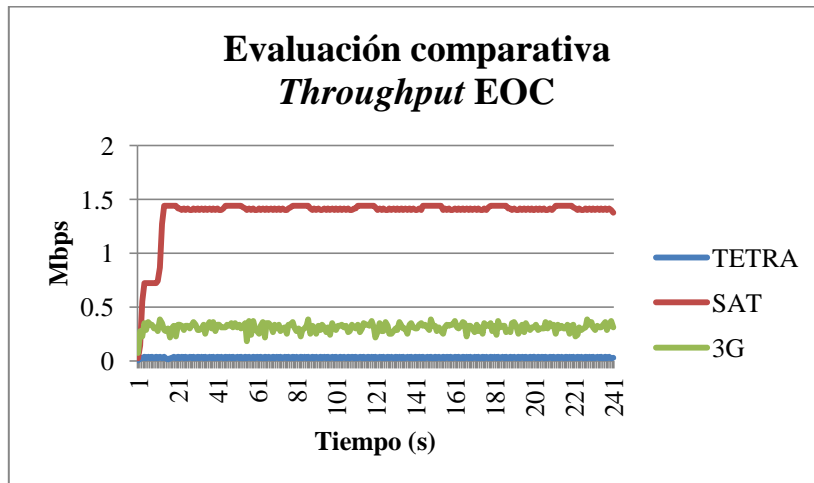


Fig. 17. Comparación del *throughput* entre TETRA, SAT y 3G en el enlace EOC.

La simulación muestra un comportamiento considerablemente estable en las diversas tecnologías, el *throughput* promedio para el enlace TETRA es de 29.70 Kbps, el de 3G es de 309.30 Kbps, más de 10 veces el de TETRA y, finalmente, el enlace satelital muestra un *throughput* promedio de 1.37 Mbps, 4.45 veces más que 3G y, por lo tanto, 46 veces mayor a TETRA; en cuanto al *delay*, los resultados que se obtuvieron de la simulación fueron los siguientes:

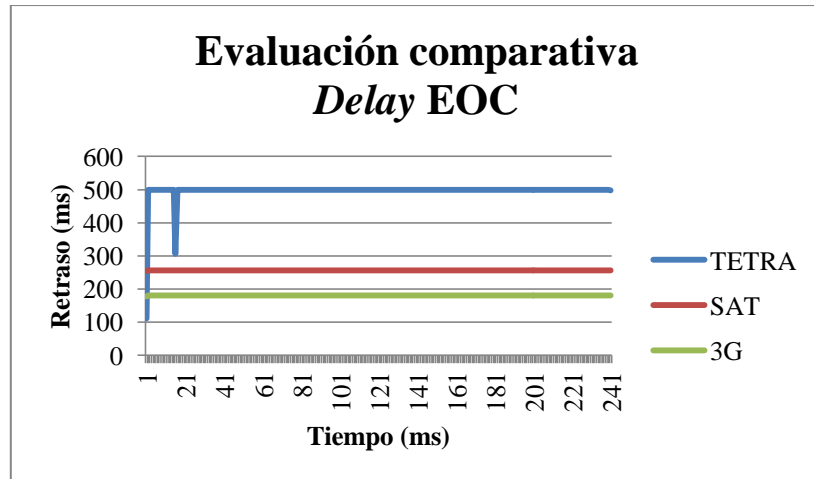


Fig. 18. Comparación del *delay* entre TETRA, SAT y 3G en el enlace EOC.

En este caso, el mejor comportamiento puede observarse en el enlace 3G, con un *delay* promedio de 181.26 ms, 1.41 veces mejor que el promedio del satelital de 255.99 ms y 2.75 veces mejor a los 497.56 ms de TETRA.

IV.7. RAZONES DE LOS ENLACES.

Las razones de los enlaces con tecnología WiFi y WiMAX se encuentran condensados en la siguiente tabla:

	FR		SN-MEOC		MEOC	
	<i>Throughput</i>	<i>Delay</i>	<i>Throughput</i>	<i>Delay</i>	<i>Throughput</i>	<i>Delay</i>
WiFi	0.676138667	245.88931	0.690733	131.7632	0.6734	246.4734
WiMAX	3.6009557	14.911458	3.867329	11.3375	3.770586	14.89063
Razones	5.32576508	0.060643	5.598873	0.086045	5.599326	0.060415

Tabla 2. Razones de WiFi y WiMAX.

Tal como puede observarse, la relación WiMAX a WiFi en concepto de *throughput* es, al menos, 532.6% veces mejor, mientras que en *delay*, los tiempos de WiMAX son, como mínimo, el 6% de los retardos de WiFi, las razones se muestran en la gráfica radial a continuación presentada, donde es posible apreciar de manera visual el mayor *throughput* y menor *delay* de WiMAX respecto a WiFi:

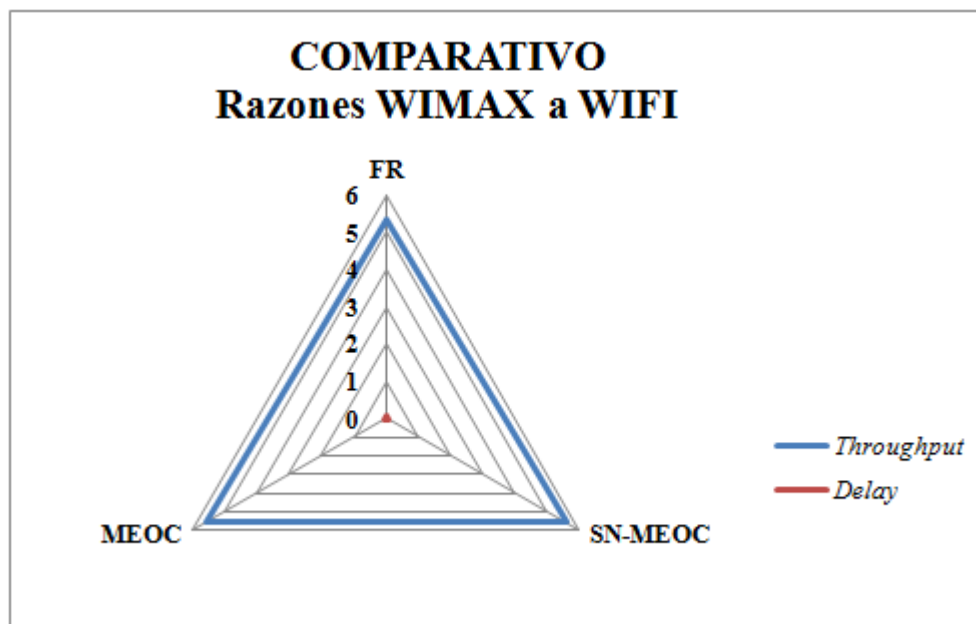


Fig. 19. Comparación de razones WiMAX a WiFi.

En cuanto al enlace EOC, las razones se hicieron respecto al enlace SAT, obteniendo los siguientes resultados:

	SAT-TETRA		SAT-3G	
	<i>Throughput</i>	<i>Delay</i>	<i>Throughput</i>	<i>Delay</i>
EOC	0.029702667	497.56666	1.377553	255.9915
EOC	1.377552667	255.9915	0.309303	181.2266
Razones	46.37808002	0.5144868	4.453737	1.412549

Tabla 3. Razones de 3G y TETRA respecto a SAT.

El enlace SAT supera con una razón de 46.37 el *throughput* del enlace TETRA y con un 4.45 el 3G, en cuanto al *delay*, representa un 5.14% del TETRA, aunque supera en razón de 1.41 al enlace 3G, que es, sin duda, el que presenta un menor retraso. Se exponen dichos datos de modo gráfico en la siguiente figura:

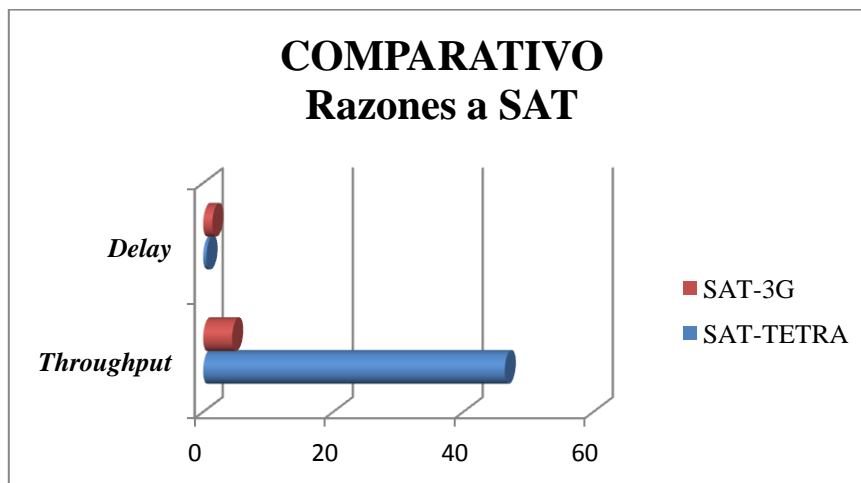


Fig. 20. Comparación de razones respecto a enlace satelital.

IV.8. COMPARATIVA ENTRE TECNOLOGÍAS.

Finalmente se realizó un análisis basado en los resultados de las simulaciones para calcular el *throughput* y el *delay* promedios de la arquitectura híbrida en su totalidad, con todas las posibles combinaciones en los 4 niveles: *mesh* FR, SN-MEOC, *mesh* MEOC y enlace hacia EOC, los resultados se muestran en las gráficas siguientes:

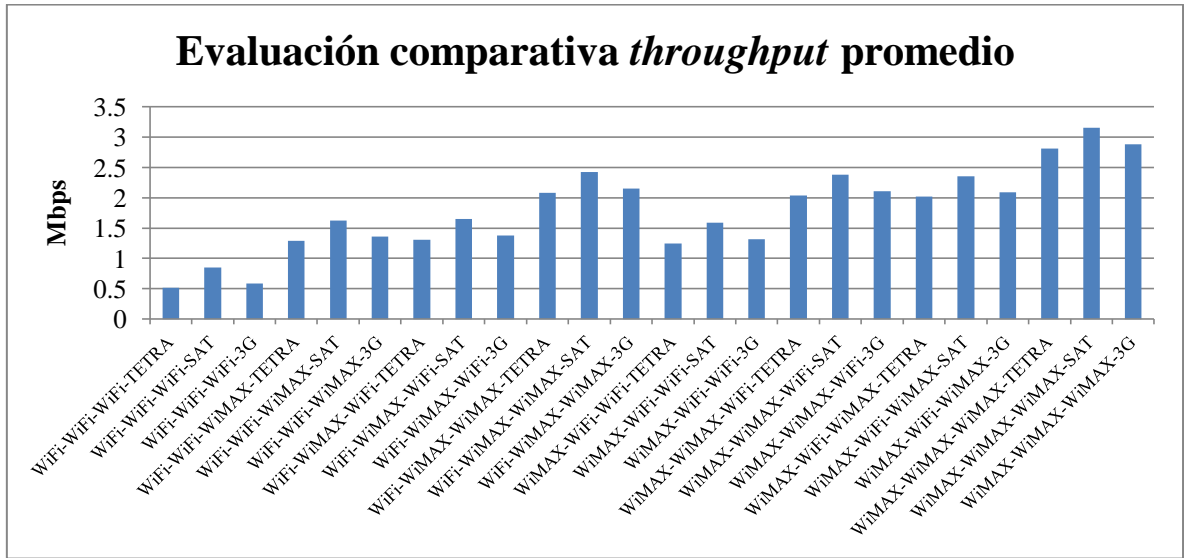


Fig. 21. Comparación de *throughput* promedio en la red con todas las tecnologías propuestas.

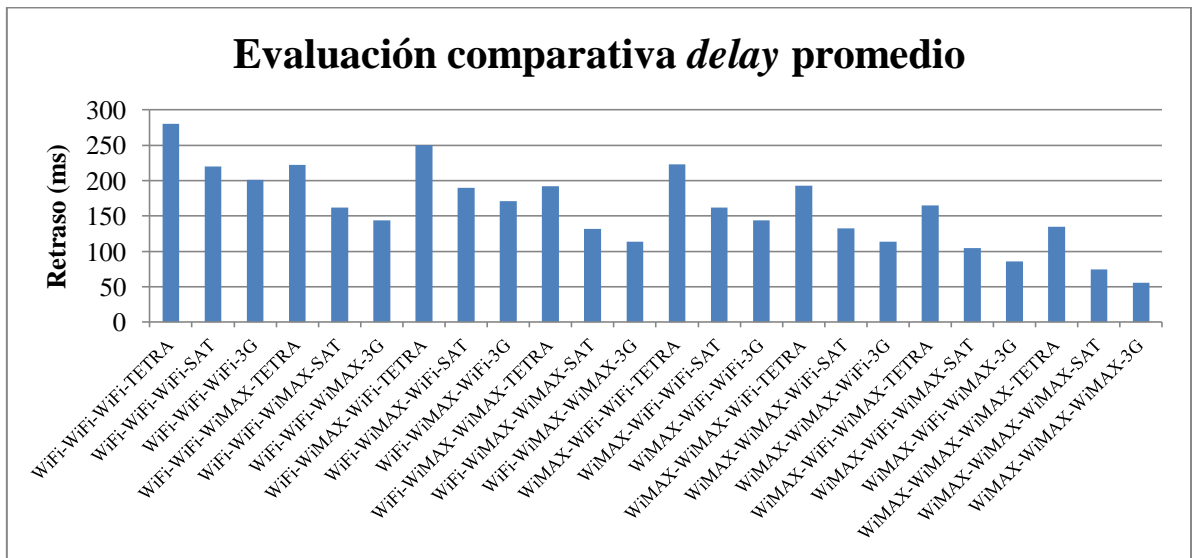


Fig. 22. Comparación de *delay* promedio en la red con todas las tecnologías propuestas.

Puede observarse que el mejor *throughput* promedio se obtiene con una red compuesta por WiMAX en los primeros 3 niveles y enlace satelital en el último, siendo de media de 3.15 Mbps, 1.09 veces mejor que el siguiente resultado, 2.88 Mbps, obtenido con WiMAX y 3G.

En cuanto al *delay*, el promedio más bajo es de 55.6 ms en el caso de una red formada por enlaces WiMAX y 3G, 1.09 veces menor al *delay* de 74.28 ms obtenido con WiMAX y enlace satelital.

V. CONCLUSIONES.

V.1. CONCLUSIONES.

Los trabajos hechos con las simulaciones demuestran que el mejor rendimiento de la red en cuestión de transmisión de datos, se obtiene en arquitecturas híbridas compuestas en los primeros tres niveles por enlaces WiMAX y enlace satelital en el último nivel; el enlace 3G es una buena alternativa en cuestiones de redundancia en el último nivel, consiguiendo un retraso menor incluso que el enlace satelital y tasas de transmisión de datos aceptables.

La tecnología WiMAX es más costosa que la WiFi, de acuerdo al reporte de la Consultora “*Mobius Consulting*” [18] los costos del equipo del cliente son, al menos, 4 veces mayores para WiMAX que para WiFi, a esto hay que añadir los costes de BS, que pueden llegar a ser hasta 9 veces menores en el caso de WiFi.

A pesar del coste, la importancia de los sistemas de emergencia, que resultan ser claves en el momento de mitigar pérdidas y salvar vidas, requieren de la tecnología más eficiente y más confiable, WiMAX no solo ofrece tasas de datos 5 veces superiores a las de WiFi, mayores alcances de cobertura y mejor gestión del QoS, además su comportamiento es menos sensible a cuestiones ambientales, lo que resulta de gran incentivo cuando se trata de este tipo de sistemas.

Las simulaciones demuestran que es posible conseguir tasas de datos lo suficientemente grandes para poder realizar transmisiones de distintas aplicaciones, desde mensajería hasta voz y video, y que puede cubrirse con efectividad un área muy amplia con menos equipos en el caso de WiMAX, lo que agilizaría la creación de la red al momento de la emergencia.

Gracias a los resultados obtenidos en el NS-2, es posible afirmar que la mejor tecnología a usar en los primeros tres niveles se trata de WiMAX, y que el enlace troncal a EOC tendrá una tasa de transmisión mayor en el caso de un enlace satelital, que podría llegar a ser sustituido, en caso de necesitarlo, por un enlace 3G.

El trabajo permite asentar precedentes teóricos que justifiquen la implantación práctica de dichas tecnologías, además de que puede servir como modelo para futuras simulaciones con nuevas tecnologías; además los resultados de las simulaciones refuerzan los obtenidos en pruebas de campo por el Grupo de Investigación de Sistemas y Aplicaciones de Tiempo Real Distribuido, lo que refleja la fiabilidad de los resultados conseguidos por medio de simulaciones, lo que confirma al NS-2 como alternativa viable en la preselección de tecnologías en sistemas de emergencias.

REFERENCIAS.

- [1] Diccionario de la Lengua Española. "Sistema". <<http://lema.rae.es/drae/?val=sistema>>. 28 feb. 2013.
- [2] Diccionario de la Lengua Española. "Emergencia". <<http://lema.rae.es/drae/?val=emergencia>>. 28 feb. 2013.
- [3] Fernández Espinosa, Ana María [en línea]. *Primeros auxilios*. España: Mc Graw Hill, 2010, 10. <<http://www.mcgraw-hill.es/bcv/guide/capitulo/8448171756.pdf>>. 1 mar. 2013.
- [4] "¿Qué es el 112?". IAEM. <<http://www.iaem.es/index.php/que-es-el-112>>. 2011. 2 mar. 2013.
- [5] "¿Qué es el 112?". 112 Comunitat Valenciana. <<http://www.112cv.com/ilive/srv.112CV.QueEsEl112>>. 2 mar. 2013.
- [6] Alberts, David y Daniel Papp (Eds) [en línea]. *Volume III. Information Age Anthology: The Information Age Military*. 2001. CCRP. <http://www.dodccrp.org/files/Alberts_Anthology_III.pdf>. 2 mar. 2013.
- [7] Brehmer, Berndt. "Understanding the functions of C2 is the key to progress". *International C2 Journal*. 2007. CCRP. <http://www.dodccrp.org/html4/journal_v1n1_07.html>. 2 mar. 2013.
- [8] Álvarez Leiva, Carlos. *Logística sanitaria en emergencias*. Madrid: Arán, 2009, pp. 74, 83.
- [9] Fragkiadakis *et al.* "Ubiquitous robust communications for emergency response using multi-operator heterogeneous networks". *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2011 2011:13. <<http://jwcn.eurasipjournals.com/content/2011/1/13>>. 2 mar. 2013.
- [10] Channa, Muhammad Ibrahim y Kazi M. Ahmed. "Emergency response communications and associated security challenges". *International Journal of Network Security & Its Applications (IJNSA)*, Vol.2, No.4. 2010. pp. 179-192. <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.174.8441>>. 2 mar. 2013.
- [11] Seventh Framework Programme. E-SPONDER. "Generic Presentation". <http://www.e-sponder.eu/Documents/E_SPONDER_WP3_generic_presentation_v0.01_20110912.pdf>. 5 mar. 2013.
- [12] Casoni, Maurizio. "Network Architectural Issues in Emergency Networks". *Dipartimento di Ingegneria "Enzo Ferrari"*. 2011. <http://www.dii.unimore.it/~mcasoni/pres_Casoni_FUNEMS2011.pdf>. 6 mar. 2013.
- [13] NS-2. "The Network Simulator - ns-2". <http://nsnam.isi.edu/nsnam/index.php/User_Information>. 12 may. 2013.
- [14] NS-2 Contributed Code. "Ns2mesh80216". <<http://cng1.iet.unipi.it/wiki/index.php/Ns2mesh80216>>. 2 may. 2013.
- [15] NIST Seamless and Secure Mobility – Tools. "IEEE 802.16 module". <http://www.nist.gov/itl/antd/emntg/ssm_tools.cfm>. 9 may. 2013.
- [16] Network Working Group. "throughput definition". <<http://xml2rfc.tools.ietf.org/html/rfc1242>>. 10 jun. 2013.
- [17] Gurtov, Andrei. "NS2 Simulation Tests for Modeling Wireless Links". *Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Helsinki*. 2003. <<http://www.cs.helsinki.fi/u/gurtov/papers/>>. 6 may. 2013.
- [18] Mobius Consulting. "Finding the Best Fit - WiFi versus WiMAX". 2008. <http://www.mobiusconsulting.com/papers/WiFi_WiMax_white_paper.pdf>. 10 jun. 2013.