

RED DE CONTINGENCIA INALÁMBRICA COMO APOYO EN CASO DE HURACANES: CASO PENÍNSULA DE YUCATÁN

Christian A. Méndez Chacón, Jorge Enrique Preciado Velasco, Roberto Conte Galván

Departamento de Electrónica y Telecomunicaciones, CICESE, Carretera Tijuana a Ensenada No. 3918, Zona Playitas, 22860 Ensenada, BC, México

chepestiano@gmail.com, jprecia@cicse.mx, conte@cicse.mx

RESUMEN

La interrupción de las telecomunicaciones, ya sea de manera parcial o total, representa un desafío durante las situaciones de emergencia y desastre. Las redes de telecomunicaciones durante una emergencia para los sistemas oficiales de seguridad pública son esenciales, ya que proporcionan los servicios cualificados con capacidad para coordinar las actividades de evaluación y salvamento de víctimas.

El presente artículo propone una red inalámbrica de contingencia de telecomunicaciones conocida como híbrida, terrestre-satelital, la cual en tierra utiliza los protocolos IEEE 802.16/IEEE 802.22 y en la comunicación satelital la Banda L, su aplicación en la Península de Yucatán, México. Se evalúa el radio de cobertura y desempeño para cada tecnología en el escenario de estudio y se determina el área donde es posible garantizar las telecomunicaciones para los elementos de auxilio y rescate.

PALABRAS CLAVE: Redes inalámbricas híbridas satelital-terrestre, Red Contingencia.

ABSTRACT

The interruption of telecommunications, either partially or totally, presents a challenge during emergency and disaster situations. Telecommunications networks during an emergency for official public safety systems are essential, as they provide qualified services with the capacity to coordinate victim assessment and rescue activities.

The present article proposes a wireless telecommunications contingency network known as hybrid, terrestrial-satellite, which uses the IEEE 802.16 / IEEE 802.22 protocols and the L-band satellite communication, its application in the Yucatan Peninsula, Mexico. The radius of coverage and performance for each technology in the study scenario is evaluated and the area where it is possible to guarantee the telecommunications for the elements of aid and rescue is determined.

KEYWORDS: Wireless Satellite-terrestrial Hybrid Networks, Contingency networks

INTRODUCCIÓN

La interrupción de las telecomunicaciones, ya sea de manera parcial o total, representa un desafío durante las situaciones de emergencia y desastre. Las redes de telecomunicaciones durante una emergencia para los sistemas oficiales de seguridad pública son esenciales, ya que proporcionan los servicios con capacidad para coordinar las actividades de evaluación y salvamento de víctimas, así como de realizar la evaluación de daños y de contención en el mayor grado posible durante las primeras horas y días posteriores del evento. El contar con una infraestructura de comunicación para el personal de emergencia responde a la necesidad de establecer vínculos para el intercambio de información diversa y vital a partir de ubicaciones remotas para indicar el tipo de ayuda requerida y dirigirla a donde se necesite [1].

El despliegue de comunicaciones inalámbricas (teléfonos celulares o radios móviles) es una de las primeras acciones a llevarse a cabo durante la respuesta a una situación de emergencia. Sin embargo, la destrucción o la disponibilidad extremadamente limitada, de la infraestructura tradicional de comunicaciones de la región afectada impide que los equipos se puedan conectar a la red troncal de comunicaciones locales y globales afectada por lo que resulta casi imposible compartir y utilizar los recursos de ayuda a través de las tecnologías de información. Esta realidad se hace crítico para el gobierno y las unidades de emergencia locales tener acceso a una red inalámbrica de comunicaciones que no dependa de la infraestructura terrestre local. Se requiere un nuevo conjunto de herramientas de comunicación para mejorar significativamente la respuesta y la eficacia de las operaciones de auxilio, rescate y recuperación, por ello la propuesta de una red de contingencia representa la forma de apoyar las telecomunicaciones en situaciones de emergencia.

En una red de contingencia, adicional a la infraestructura terrestre que se implante, la comunicación por satélite proporcionan una solución viable, rápida y confiable ya que permite acceso a los usuarios a conectividad local, regional e internacional desde cualquier lugar. El despliegue rápido de la infraestructura en cualquier ubicación remota o aislada, ofrece una gran ventaja para la recolección de información de emergencia sobre desastres y la notificación inmediata a cada terminal, asimismo, da plena movilidad en el lugar del desastre para los equipos de rescate y la conectividad de banda ancha dentro del área de cobertura [2][3].

PANORAMAS DE DESASTRES

MUNDIAL

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, por sus siglas en inglés) en un informe presentado sobre el impacto de los desastres en América Latina y el Caribe (1990-2011) [4] indica que la mayoría de las personas fallecidas en los desastres naturales son a causa de los sismos, aunque se registra un mayor número de población afectada por fenómenos hidrometeorológicos. La experiencia en todo el mundo muestra que es durante la respuesta inmediata a la crisis cuando se presentan los principales problemas y donde la comunicación y la coordinación de carácter logístico son los principales desafíos [5][6].

EN MÉXICO

México es un país diverso en aspectos geográficos y climáticos, ubicado en la parte meridional de América del Norte y rodeado por el Océano Pacífico al oeste, y por el Golfo de México y el Mar Caribe al este.

Según el último censo de 2010, México tiene 112'336,538 habitantes (57 habitantes por km²), los cuales se encuentran expuestos a todo tipo de peligros de tipo natural (sismos, huracanes, inundaciones).

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), organismo en México encargado de crear, gestionar, promover y evaluar políticas públicas para la reducción de riesgos así como coordinar sistemas de información de riesgos y sistemas de alerta, bajo las atribuciones que le confiere la Ley General de Protección Civil, conformó el Atlas Nacional de Riesgos que integra información sobre fenómenos perturbadores a los que está expuesta una comunidad y su entorno [7]. En dicho documento se muestra un diagnóstico de peligro e identificación de riesgos de desastre en México, en donde se indica que un 60% del territorio nacional es afectado por huracanes, de los cuales, el grado de riesgo es muy alto en algunos estados; de manera especial en el sureste de la República Mexicana [8]. El Atlas Nacional de Riesgos en su base de datos tiene ya identificadas dichas zonas para el caso de huracanes, también conocidos como ciclones, como se indica en la figura 1.

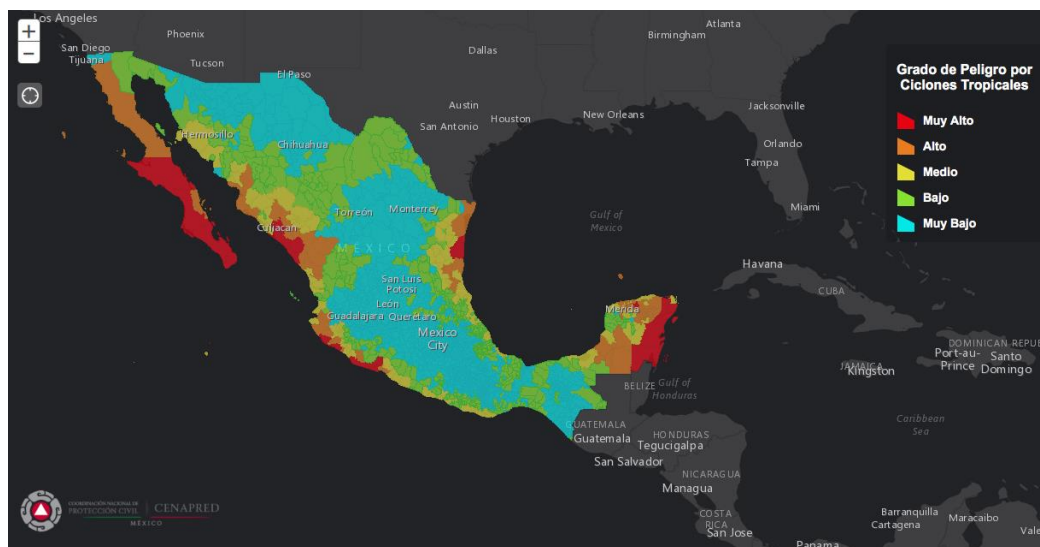


Figura 1. Mapa de grado de riesgo por ciclones tropicales [CENAPRED, 2015]

La gestión del riesgo de desastres incluye la suma total de todas las actividades, programas y medidas que se pueden tomar antes, durante y después de un desastre con el fin de evitarlo, reducir su impacto o recuperarse de sus pérdidas. A través de los sistemas de alerta temprana se pueden conocer las trayectorias de estos fenómenos meteorológicos y preparar a la población ante el riesgo latente, para que durante el evento se tenga el menor número de víctimas mortales y pérdidas, lo que es comúnmente conocido como fase de alerta, ver figura 2.

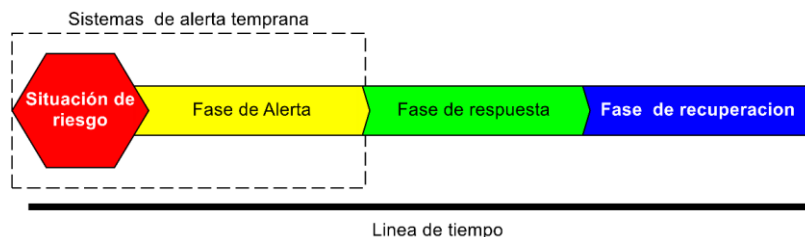


Figura. 2 Fases de la gestión de desastres

Durante el embate de un huracán en su paso a través del territorio nacional se compromete toda la infraestructura de la región afectada, incluyendo los sistemas de telecomunicaciones que pueden fallar parcial o totalmente, pudiendo incluso quedar intactos pero no estar disponibles para su pronta operación. Son estos servicios los que se vuelven esenciales durante la fase inmediata de respuesta ante el desastre, ya que se requiere la comunicación, coordinación y flujo de información entre el gobierno y grupos de protección civil, policía y equipos de rescate, entre otros, para la gestión de la crisis. En la fase de recuperación, se sigue la evaluación de los daños (infraestructura y económica) pero lo principal es el auxilio a la población vulnerable.

CASO DE ESTUDIO: LA PENÍNSULA DE YUCATÁN

El CENAPRED en su Atlas Nacional de Riesgos ubica a la península de Yucatán (Campeche, Quintana Roo y Yucatán) como una zona de grado de riesgo alto a muy alto, por ciclones tropicales en la gran mayoría de su territorio [9] como se indica en la figura 3. La orografía de la península de Yucatán es en su gran mayoría terreno llano, alcanzando la zona sur del estado de Yucatán una altura máxima 390 m sobre el nivel del mar (snm), lo que resulta una indicador importante al momento de evaluar daños, y la propagación.

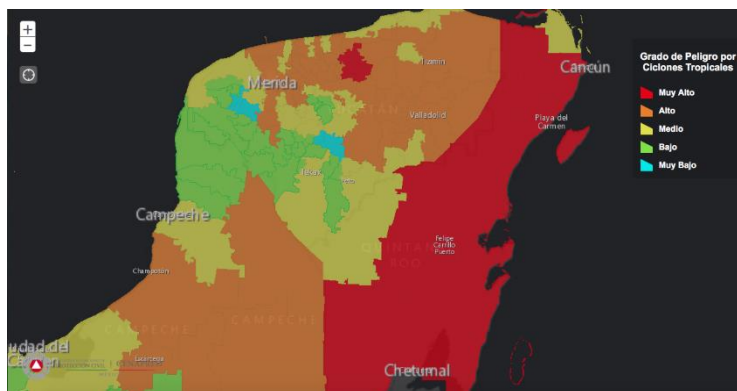


Figura 3. Grado de riesgo en la península de Yucatán [10]

Aspecto de relevancia es la cantidad de población, ya que, según cifras del INEGI existen aproximadamente cerca de 4.2 millones de habitantes en la península [11] dato que resulta importante al momento de ubicar poblaciones vulnerables por huracanes. En la Tabla 1 se muestran algunos parámetros cruciales que identifican al territorio.

Tabla 1. Información por Entidad Federativa en la Península de Yucatán

Entidad (No. Municipios)	Población	Extensión (km ²)	Precipitación media anual	Clima (Cálido)
Campeche (Municipios: 11)	75% urbana 25% rural	57,516	Entre 1200 y 2000 mm	Subhúmedo 92% Cálido Húmedo 7.75%
Quintana Roo (Municipios: 9)	88% urbana 12% rural	44,825	1300mm	Subhúmedo 99% Cálido húmedo 1%
Quintana Roo (Municipios: 106)	84% urbana 16% rural	39,871	1100 mm	subhúmedo 85.5% Cálido húmedo 14.5%

El presente trabajo aborda la arquitectura de una red de contingencia en situaciones de huracán para la Península de Yucatán, conformada de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán. Se propone una arquitectura de red de comunicaciones inalámbricas híbrida (terrestre-satelital) de contingencia con radio bases portátiles (estaciones base) y estaciones terrenas transportables (estaciones remotas).

ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE DE LAS TECNOLOGÍAS INVOLUCRADAS

La ITU define en el marco de las NGN a las Redes Híbridas, donde el principal interés es explorar la colaboración entre diferentes sistemas de comunicación que integran los aspectos tecnológicos más poderosos de comunicaciones por satélite y terrestres inalámbricos, de acuerdo con el paradigma *Siempre Mejor Conectado* [12]. En el estudio del estado del arte de las tecnologías para redes de emergencia, las redes híbridas se erigen como una forma de construir redes de telecomunicaciones para cuando la infraestructura utilizada de manera tradicional no está disponible total o parcialmente. Estas redes híbridas están interconectadas y forman arquitecturas cuyo período de operación suele ser temporal y trabajan de manera independiente una de otra. Su uso potencial es en casos de desastres naturales.

SERVICIOS PARA PROTECCIÓN CIVIL

La ESA, Agencia Espacial Europea (por sus siglas en inglés) desde hace años realiza esfuerzos enfocados a salvaguardar la vida humana. Su dirección de Telecomunicaciones y Aplicaciones Integradas (*Telecommunications Integrated Applications*, TIA por sus siglas en inglés) implementó el programa de Investigación Avanzada en Sistemas de Telecomunicación (*Advanced Research in Telecommunications Systems*, ARTES por sus siglas en inglés)[13]. Entre los productos desarrollados se encuentra STICK (*Satellite-Terrestrial Integrated Communications Kit*), un prototipo de la compañía española GT, que tiene como objetivo proporcionar capacidad de comunicaciones de banda ancha para la Protección Pública y los equipos de ayuda ante desastres, a través de nodos de red que se conectan entre sí con puentes inalámbricos con línea de vista punto a punto, o punto a multipunto, sobre uno o más saltos, que una vez desplegados se ponen en contacto con el Centro de Gestión de la Red a través del enlace satelital [14].

WISECOM¹ es otro producto cofinanciado por la Comisión Europea, y despliega una arquitectura conformada por un segmento espacial y un segmento terrestre en el cual se estudia, desarrolla y validan las infraestructuras de comunicaciones de peso ligero y rápido despliegue para las condiciones de emergencia natural o industrial, e incorpora servicios basados en la localización. El sistema integra varias

¹ Wireless Infrastructure over Satellite for Emergency Communications Coordinator.

redes de radio móviles terrestres (GSM, UMTS, WiFi, y, opcionalmente, WiMAX y TETRA) a través de satélite (Inmarsat BGAN² y sistemas DVB-RCS³). La infraestructura debe cubrir las necesidades inmediatas en las primeras horas y días después del desastre, al igual que las necesidades a largo plazo, durante la fase de recuperación y reconstrucción después de una emergencia [15]. Existen varios esfuerzos mundialmente en este tema.

RED DE CONTINGENCIA PROPUESTA: TECNOLOGÍA HÍBRIDA

La interrupción parcial o total de las comunicaciones se repite en situaciones de desastres. Una infraestructura de telecomunicaciones flexible, dinámica, interoperable y asequible para los equipos de auxilio y rescate permite atender a la población más vulnerable. Este trabajo propone una arquitectura de red híbrida para contingencias ante los casos de huracanes que permita moverse hacia el lugar del evento. Se centra en la fase de respuesta ante un desastre por huracán, donde la red debe contribuir en lo posible a la restauración de la infraestructura de telecomunicaciones ejecutada por organismos gubernamentales diferentes.

El análisis de los estándares inalámbricos IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16 y IEEE 802.22, indica que, para proponer una red terrestre, deben elegirse los esquemas que proporcionen mayor área de cobertura con enlaces de calidad, brindar movilidad y al mismo tiempo garantizar comunicaciones en el lugar de la emergencia. Se descartan los estándares 802.11 y 802.15 ya que fueron diseñados para operar en celdas menores a 100 m, con un rendimiento pobre en enlaces a largas distancias. Por el contrario, el estándar IEEE 802.16 (WiMAX) fue creado para dar conectividad en áreas metropolitanas (redes MAN). Su diseño teórico permite distancias de hasta 50 km en condiciones ideales, aunque en la práctica opera en celdas entre 7 y 8 km promedio con línea de vista.

La migración de la televisión analógica a la digital en México y el mundo supone la liberación de espacios en el radioespectro que pueden ser aprovechados en otras aplicaciones de las telecomunicaciones. Así surge IEEE 802.22 (WRAN), creado para compartir el espectro sobre la base de la no-interferencia, y ser capaz de ofrecer telecomunicaciones a zonas de ambientes rurales y baja densidad de población. El estándar IEEE 802.22 tiene un alcance de hasta 100 km en condiciones ideales (antenas receptoras menores a 10m y antenas de transmisión menores a 30 m), sin embargo en la realidad se tiene un alcance promedio de 33 km. Aun así esa distancia representa una distancia de transmisión considerable en estándares inalámbricos. Esto proporciona una ventaja adicional que permite acceder a la red pública de telecomunicaciones con un menor número de radio bases, al cubrir un área mayor, por lo que se elige 802.22 como una alternativa inalámbrica dentro del diseño de la red de contingencia en situaciones de desastre provocados por huracanes.

Méndez [16] realizó un análisis exhaustivo de las tecnologías satelital y terrestre, surgiendo la propuesta de implementar el segmento satelital de la red de contingencia mediante el uso de la flota satelital mexicana MEXSAT 2, coadyuvando a los esfuerzos del gobierno mexicano en la prevención y gestión de desastres. La red satelital debe permitir la gestión de los sistemas de comunicación de enlaces punto a punto, o punto a multipunto, entre los elementos terrestres, en una topología estrella que trabaje en frecuencias de la banda L, permita movilidad y comparta ancho de banda usando el acceso múltiple TDMA.

² Broadband Global Area Network

³ Digital Video Broadcasting – Return Channel Satellite

Asimismo, se consideran para los escenarios bajo estudio (península de Yucatán), índices como precipitación promedio anual, y tipo de clima y de terreno que se muestran en la Tabla 1, ya que permiten que las simulaciones de la red propuesta, arrojen resultados referentes al rendimiento del sistema y lleven a la toma de decisiones por las autoridades para la prevención de desastres y auxilio a la población. La arquitectura propuesta se realizó sobre la base del análisis realizado.

DISEÑO DE LA ARQUITECTURA DE LA RED DE CONTINGENCIA

Dado que la gestión de la emergencia por parte de los organismos de auxilio y Protección Civil en México se lleva a cabo de manera escalonada, la arquitectura del sistema debe permitir a cada nodo de la red ser independiente y al mismo tiempo estar enlazado a una entidad de gobierno de mayor rango, por lo que es adecuada una red multinivel. Así, se plantea una red dividida en tres niveles (ver figura 4), donde los dos primeros (Nivel 1 y Nivel 2) estarán en el segmento terrestre y el tercero en el segmento espacial.

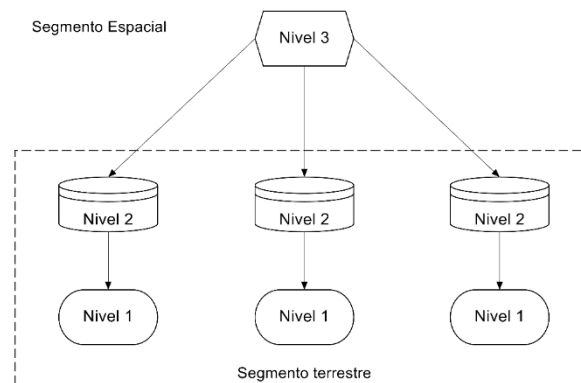


Figura 4. Arquitectura multinivel

Algunas de las consideraciones (logísticas y/o de infraestructura) iniciales para el diseño de la red de contingencia se describen en la Tabla 2.

Para el diseño de la red híbrida de contingencia, se consideran dos escenarios de comunicación: el terrestre y el espacial, en la figura 5 se muestran ambas vertientes. Para cada uno de los escenarios deben considerarse los aspectos tecnológicos correspondientes. Es decir, si es el segmento terrestre (Nivel 1) a diseñar se introducen los aspectos técnicos correspondientes a WiMax o WRAN indicados en la Tabla 3, se procede de forma similar para el segmento espacial (Nivel 3) con los datos proporcionados en la Tabla 4 para el satélite Morelos (MEXSAT 2), los cuales al utilizarse en los cálculos y simulación de los escenarios permiten tener los resultados tanto para la cobertura como del desempeño de la red de contingencia.

Tabla 2. Consideraciones para el diseño del sistema

Se asume que la infraestructura instalada en tierra quedó destruida o inhabilitada por la fuerza del fenómeno hidrometereológico
La implementación de una red de contingencia deberá ser, entre otras cosas, flexible, desplegable en situaciones de emergencia
Previo al huracán, y con conocimiento de la probable trayectoria, del histórico de mayor frecuencia de daños, y la cantidad de habitantes, se eligen las posiciones donde se ubicarán las estaciones Base Móviles
Las estaciones Base de características Móviles, son equipos de comunicación transportables en vehículos tipo camionetas conocidas como “pick up” que contiene antenas desplegables monopolo de 3 m de altura, y antenas parabólicas para comunicación satelital.
Las terminales móviles (agentes) que se despliegan alrededor de la celda con radio transmisor/receptor tienen una altura media de 1.64 m.

Tabla 3. Comparación WiMAX y WRAN a utilizar en este trabajo

Parámetro	WiMAX	WRAN
Capa Física Ancho de canal	OFDMA 5 MHz	OFDMA 6 MHz
Transformada rápida de Fourier, FFT (Tamaño)	512	2048
Frecuencia de muestreo (MHz) F_s	5.6	6.9
Número de subcanales	8	60
Numero de portadoras usadas (N_{used})	360	1440
Espacio entre subportadoras	10.9 KHz	3.3 KHz
Tiempo de símbolo ($1/\Delta f$)	91.4 μ seg	298.7 μ seg
Max CP Time (μ sec)	11.4	74.7
Tasa pico de datos (Mbps)	15.8	22.7
Distribución de Ráfagas <i>Burst Allocation</i>	bidimensional	Lineal
Técnicas de antena múltiple	Multiplexión	No soportado

Tabla 4 Especificaciones del satélite MEXSAT 2 [17]

Característica	Descripción
Órbita Posición	GEO 113.1 W
Potencia (Cochetti, 2014)	15 kW
Banda	L para MSS
Antena	22 m
Frecuencias (SCT, 2012)	Espacio-Tierra: 1518-1559 MHz Tierra-Espacio: 1668-1675 MHz
Ancho de banda espectral	250 MHz, 122 haces, 2.2 MHz por haz, 17 Grupos de 7 celdas

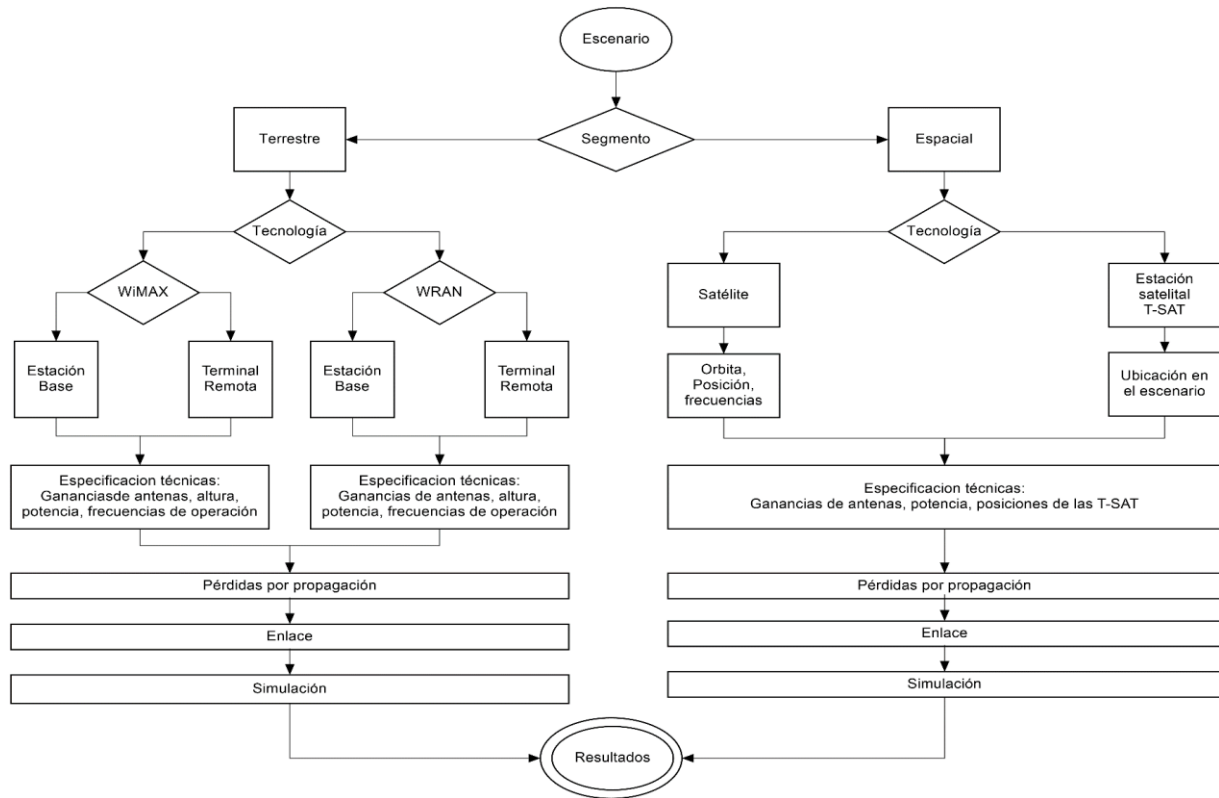


Figura. 5. Esquema utilizado para el diseño de red una red híbrida de contingencia

El Nivel 1 (N1) contiene a los elementos locales, las Terminales Remotas (TR_m) que se encuentran en el lugar de emergencia y se desplazan alrededor de manera aleatoria a diferentes distancias (r_m) de la radio base (EB_j) y les provee comunicación inalámbrica a través de tecnologías WiMAX (IEEE 802.16e) o WRAN (IEEE 802.22), como se muestra en la figura 6. Ambas tecnologías operan en un sistema punto multipunto, sin configurarse conexiones tipo malla entre otras Terminales Remotas cercanas.

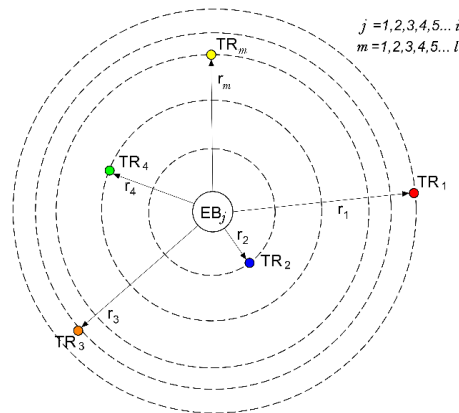


Figura 6. Comunicación Nivel 1, elementos locales

En relación a los nodos, las (EB_j) son equipos de tecnología WRAN/WiMAX enlazando las terminales de los usuarios finales (TR_m) distribuidos en el lugar del evento de manera inalámbrica. En el nodo base (N2) la principal función del router es la interconexión de las subredes a través del encaminamiento de los paquetes.

El nivel 3 (N3) contiene la tecnología satelital, básicamente recibir la señal, amplificarla y retransmitirla a través del transpondedor (Trasmisor/Respondedor), quien permite la conexión de los distintos nodos base del nivel 2 (N2). Para lograr esto, en N3 se requiere una conexión tipo estrella en la topología de red de comunicación satelital, como muestra en la figura 7. Esta arquitectura permite crear pequeñas células de área local “WRAN/WiMAX” conectadas entre sí, y cuando la distancia entre cada nodo base en tierra no garantiza la conexión directa entre los nodos se utiliza el enlace satelital. Una característica de las células terrestres es la movilidad de las TR_m, que generan tráfico de información local, el más importante en la red de contingencia.

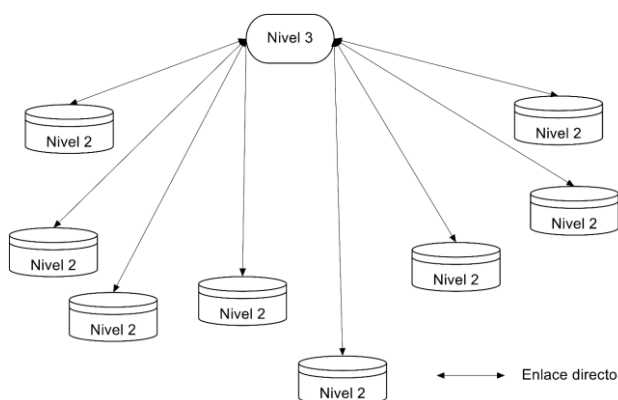


Figura 7. Nivel 3: topología tipo estrella

SIMULACIONES Y RESULTADOS

Las simulaciones hechas, como en la arquitectura, se dividen en dos secciones: para el segmento terrestre se utiliza el simulador conocido como *Radio Mobile*, que obtiene las distribuciones del espectro y las coberturas a alcanzar en los intervalos de frecuencia de operación entre otros. Para el segmento espacial se utilizan las ecuaciones diseñadas para el cálculo típico de dichos enlaces [16] y se aplican utilizando software para hojas de cálculo. El despliegue de la red de contingencia a desarrollar se muestra en la figura 8. En ella se observa que por cada entidad existe una estación terrena maestra (ETM) donde se encuentra la Unidad Estatal de Protección Civil hacia la cual están conectadas las demás instancias especializadas de protección civil.

SIMULACIÓN DE SEGMENTOS TERRESTRES

Radio Mobile utiliza el modelo ITM (Irregular Terrain Model, o Long Rice Model) para el cálculo de enlaces en un intervalo de frecuencias desde 20 MHz hasta 20 GHz en distancias de 1 hasta 2,000 km. Los parámetros a introducir para realizar las simulaciones permiten reflejar a los correspondientes equipos reales que estarían destinados en la instalación. Radio Mobile utiliza el perfil geográfico de las zonas de

trabajo a través de una completa base de mapas topográficos digitales de alta resolución de la Tierra como SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), los GTOPO30 (Global 30 Arc-Second Elevation) y los DTED (Digital Terrain Elevation Data) [18].

Dentro de Radio Mobile es necesario primero, ubicar los equipos que formarán parte de la red, tanto estaciones base EBJ y terminales remotas (TRm e indicar su posición (latitud, longitud y altura snm) dentro del mapa del simulador. Las Estaciones (nodos) base son trasportables y una vez ubicados en el área de estudio estarán con una posición fija (figura 9); las estaciones remotas por el contrario acuden al mismo lugar que la estación base en cuestión, pero se desplazan en el área afectada, y tienen acceso a comunicación inalámbrica para así reportar lo sucedido, a fin de brindar auxilio a la población, dicha acción supone una posición aleatoria en torno a la estación base. Se supone en primera instancia, que las distancias máximas en las que se pueden desplazar son de 8 km y 33 km desde la Estación Base, estas distancias son los alcances promedio de las tecnologías WiMAX y WRAN, respectivamente. En la figura 10, se indica, a manera de ejemplo, una de las pantallas de configuración de Radio Mobile.

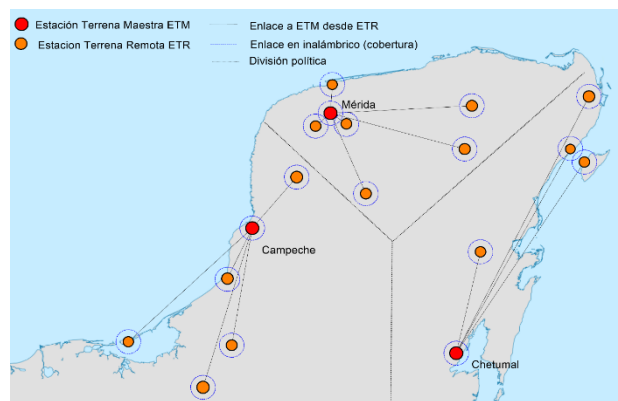


Figura 8. Red de contingencia con topología estrella en cada estado de la península

Las simulaciones se efectúan para cada uno de los 18 nodos distribuidos en la península a fin de determinar la combinación de los equipos con tecnología IEEE 802.16 e IEEE 802.22 que ofrezca un mejor rendimiento. Con el cálculo para los distintos enlaces, se obtienen las áreas de cobertura y el mapa para cubrir totalmente la península de Yucatán, lo que llevará a proporcionar información sobre los daños y población vulnerable, para auxilio de la misma.

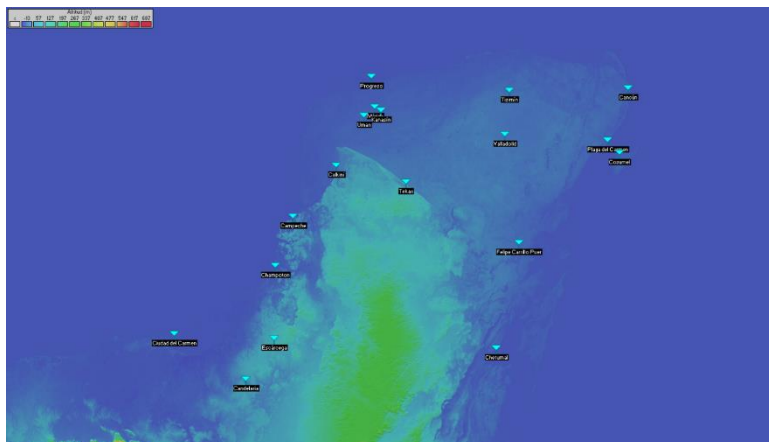


Figura 9. Mapa SRTM de la Península de Yucatán con EBJ distribuidas

Lista de todas las redes	Parámetros	Topología	Miembros	Sistemas	Estilo
IEEE 802.16 e IEEE 802.16 2004 IEEE 802.22 VHF IEEE 802.22 UHF IEEE 802.22 Htachi ITU-R M.2033 V-MX ITU-R M.2033 VI-VII ITU-R M.2033 VIII-XI	<p>Nombre de la red: ITU-R M.2033 VIII-XI</p> <p>Frecuencia mínima (MHz): 746</p> <p>Frecuencia máxima (MHz): 869</p> <p>Polarización: <input checked="" type="radio"/> Vertical <input type="radio"/> Horizontal</p> <p>Modo estadístico:</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Intento: % de tiempo 90<input type="radio"/> Accidental: % de ubicaciones 50<input checked="" type="radio"/> Móvil: % de situaciones 50<input type="radio"/> Difusión: % de situaciones 50				

Refractividad de la superficie (Unidades-N): 370

Conductividad del suelo (S/m): 0.005

Permitividad relativa al suelo: 15

Clima:

- ☐ Ecuatorial
- ☐ Continental sub-tropical
- ☒ Marítimo sub-tropical
- ☐ Desierto
- ☐ Continental templado
- ☐ Marítimo templado sobre la tierra
- ☐ Marítimo templado sobre el mar

Figura. 10: Pantalla ejemplo de configuración de Radio Mobile para simulaciones de la red.

ALGUNOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

El mapa de cobertura para la tecnología WiMAX (IEEE 802.16e) se muestra en la figura 11, y en la figura 12 se muestra el de la tecnología WRAN (IEEE 802.22). Las simulación permite hacer ajustes debido a la distribución de habitantes y abarcar mayor territorio posible.

Cabe resaltar que el área de cobertura alcanzada por IEEE 802.16–2004, es mayor que el área cubierta por las demás tecnologías. Sin embargo, IEEE 802.16e fue desarrollado para unidades móviles mientras que IEEE 802.16–2004 es para equipos fijos, lo que limita su empleo en este trabajo. Así IEEE 802.16e será finalmente la tecnología utilizada en la red de contingencia, ya que se requiere movilidad en los equipos remotos.

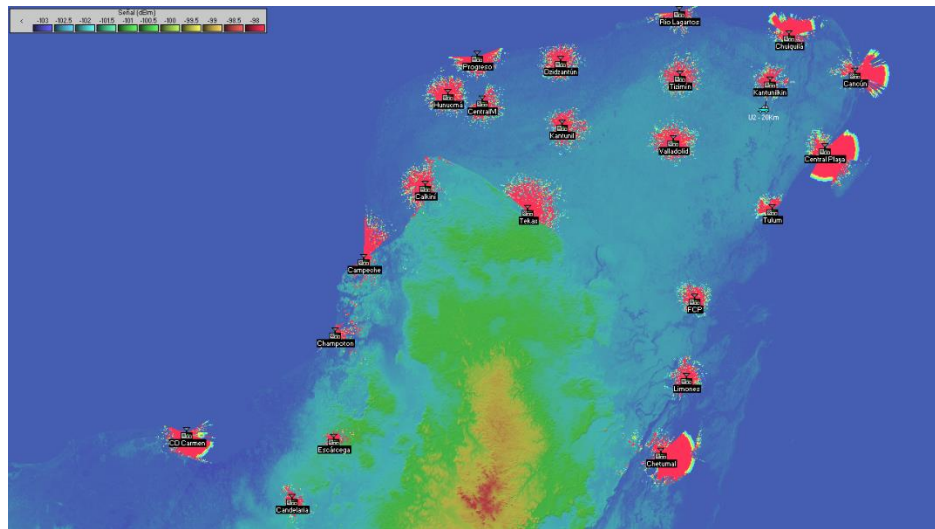


Figura. 11. Mapa de Cobertura de la Península de Yucatán (Campeche, Quintana Roo y Yucatán) para el enlace con IEEE 802.16e.

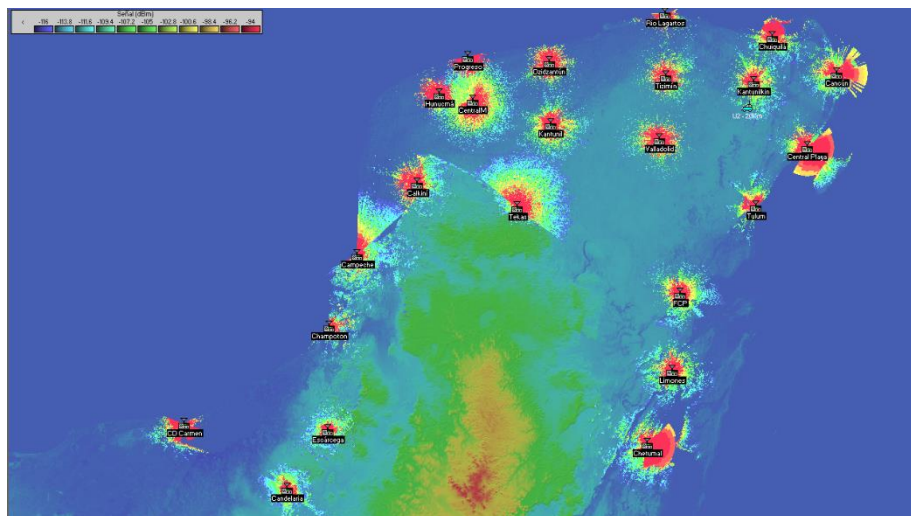


Figura. 12. Mapa de Cobertura de la Península de Yucatán (Campeche, Quintana Roo y Yucatán) para el enlace con IEEE 802.22 VHF.

Los resultados de las coberturas logradas utilizando ambas tecnologías (WiMax y WRAN) para toda el área bajo estudio se muestra en la Tabla 5.

RED DE CONTINGENCIA INALÁMBRICA COMO APOYO EN CASO DE HURACANES: CASO PENÍNSULA DE YUCATÁN

Tabla 5. Resultados de las simulaciones de red de contingencia para cobertura en la Península de Yucatán.

Campeche	Cobertura Área (km²) Enlace: : peor de los casos					
	Calkiní	Campeche	Champotón	Escárcega	Candelaria	Cd. del Carmen
IEEE 802.16 e (Móvil)	1018	389	278	153	320	911
IEEE 802.22 VHF	2905	4633	1472	2426	3173	1468

Quintana Roo	Cobertura Área (km²) Enlace: peor de los casos							
	Cancún	Central Playa	Chetumal	Chiquilá	F. Carrillo Puerto	Limones	Tulum	Kantunilkin
IEEE 802.16 e (Móvil)	1445	1989	1737	1283	745	887	563	818
IEEE 802.22 VHF	2481	2998	3941	2620	2847	2829	1984	2685

Yucatán	Cobertura Área (km²) Enlace: peor de los casos								
	Central M	Dzidzantún	Hunucmá	Kantunil	Progreso	Lagartos	Tekax	Tizimín	Valladolid
IEEE 802.16 e (Móvil)	629	1051	1073	759	524	529	1342	822	1101
IEEE 802.22 VHF	4198	2485	2361	2752	1475	1419	5248	2474	3129

Con la distribución de las radio bases en el territorio se cubre un 40 % la entidad de Quintana Roo, cerca de un 30 % la entidad de Yucatán y un 10 % de territorio en Campeche al emplear tecnología IEEE 802.22, esto sin considerar tasas mínimas de transferencia de datos. El alcance máximo de una estación base con las características técnicas de los equipos elegidos (incluyendo las alturas propuestas) es de 12.6 km de radio, cubre aproximadamente 455 Km2. A esta distancia se garantiza la comunicación bidireccional a una tasa pico, al emplear QPSK-1/2, de 4.54 Mbps con la tecnología IEEE 802.22 y un máximo de 3.17 Mbps al emplear IEEE 802.16e. Esto conlleva a indicar que el área efectiva que se logra es cercana a los 10,500 Km2 con el total de Estaciones Bases utilizadas en este primer estudio, área que cubre las principales ciudades dentro del escenario de estudio y con mayor número de habitantes.

Es esencial resaltar que el área cubierta por la red de contingencia propuesta es sobre el municipio elegido; sin embargo, existen localidades cercanas a estas estaciones base que quedan dentro del área de cobertura de la misma (12.6 km de radio). Un análisis más exhaustivo sobre las localidades alcanzadas en relación con el número de individuos que en ellas habita establece que para el total de las poblaciones por estado, para Campeche se logra cubrir un 60 % de la población; en Quintana Roo se logra un 77 % de la población y para Yucatán un 59 %, de la población. Es posible aumentar el número de estaciones base en los estados con el fin de incrementar el porcentaje de población atendida. En relación con el número de habitantes que logra incluirse dentro del radio de cobertura de la célula formada por una nueva Estación Base, resulta necesario considerar poblaciones con menos de 40 mil individuos.

CONCLUSIONES

Es posible desplegar una red de contingencia que utilice tecnología inalámbrica terrestre y enlaces satelitales en el sitio de la emergencia, con un radio de cobertura limitado y tecnología mínima de telecomunicaciones.

Se puede extender esta herramienta a otros escenarios y considerando distintas áreas geográficas, distintos tipos de terrenos, y distinto número de poblaciones.

El alcance máximo que se logra con las características técnicas de los equipos elegidos (incluyendo las alturas propuestas) en el área que una estación base cubre, es de 12.6 km de radio, cercanos a los 455 Km². A esta distancia se garantiza la comunicación bidireccional.

Se establece que para el total de las poblaciones por estado, en Campeche se logra cubrir un 60% de la población; en Quintana Roo un 77% de la población y para Yucatán un 59%, de la población.

Implementar a corto plazo la red de contingencia propuesta, con el protocolo IEEE 802.22 (WRAN) no es factible debido a la escasez de productos comercialmente disponibles.

Frente a esto, la tecnología con el protocolo IEEE 802.16e (WiMAX) resulta efectiva para su pronta implementación en una red de contingencia.

La elección del satélite MEXSAT 2, en Banda-L en conjunto con la tecnología de espacios blancos representa un precedente en su aplicación de este sistema, para auxilio en la población en caso de desastre en el territorio mexicano.

REFERENCIAS

1. A. M. Townsend, y M. L. Moss, New York University. *"Telecommunications Infrastructure in Disasters: Preparing Cities for Crisis Communications"*. New York University, N.Y, 2005.
2. Y.-M. Lee, B.-I. Ku, y D. S. Ahn, *"A Satellite Core Network System for Emergency Management and Disaster Recovery"*. Information and Communication Technology Convergence (ICTC) 2010 International Conference, pp 549-552. Jeju, 2010.
3. G. Iapichino, C. Bonnet, O. del Rio Herrero, C. Baudoin y I. Buret, *"Advanced Hybrid Satellite and Terrestrial System Architecture for Emergency Mobile Communications"*. 26th International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC 2008) (pp. 1-8). San Diego: 2008.
4. UNISDR, y C. OSSO, *"Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe", 1990 -2011. Tendencias y estadísticas para 16 países"*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR). Panamá, 2013.
5. Harvard Institute for International Development". HIID, e INCAE. *"Estrategia para la Reconstrucción y Transformación de C.A. después del Huracán Mitch"*. INCAE Business School, Nicaragua, 1998.
6. V. Jones, G. Karagiannis, y S. Heemstra de Groot, *"Ad hoc networking and ambient intelligence to support future disaster response"*. Institut National de Telecommunications. Hossam Afifi and Djamal Zeghlache, Paris, 2005.
7. C. M. Valdés González, *"Mensaje de bienvenida"*. Obtenido de Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), <http://www.cenapred.unam.mx/es/dirQuienesSomos/Mensaje>, 2014
8. CENAPRED, *"Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México"*. Obtenido de Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED): <http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/SerieEspecial/diagnostico.pdf>, 2001

9. CENAPRED, "Visor de Mapas". (Atlas Nacional de Riesgos) Recuperado el 5 de Abril de 2015, de Centro Nacional de Prevención de Desastres: <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/images/PHPcenapred/index/fase1/Hidros>, 2015
10. CENAPRED, "Atlas Nacional de Riesgos, Visor de Mapas". Obtenido de <http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/images/PHPcenapred/index/fase1/Hidros>, 2015.
11. INEGI, "Información por entidad (2010)", Obtenido de <http://www.cuentame.inegi.org.mx/default.aspx>, 2015.
12. S. Kota, G. Giambenel, y K. Sooyung, "Satellite component of NGN: Integrated and hybrid networks. *International Journal Satellite Communications and networking*", 29 (3), pp 191-208, 2011.
13. ESA, "ARTES Applications". Obtenido de <https://artes.esa.int/about-artes>, 2015
14. ESA, "ARTES Applications", Obtenido de STICK - Satellite-Terrestrial Integrated Communications Kit: <https://artes.esa.int/projects/stick>, 2014
15. L. Thomasson, G. Verelst, S. Deprey, P. Boutry, M. Berioli, y N. Courville, "Hybrid satellite-terrestrial based solutions for rapid deployment of wireless telecommunication networks in emergency situations. *Sixth Framework Programme*". Obtenido de <http://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/3/034673/080/publishing/readmore/Paper-TIEMS-2008.pdf>, 2008
16. C. A. Méndez, "Red de comunicación inalámbrica terrestre y satelital como apoyo a servicios de protección civil en caso de huracanes". Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, BC, Ensenada, BC, 2016.
17. F. R. Vázquez, "Mexican Satellite System". Obtenido de United Nations Office for Outer Space Affairs: <http://www.unoosa.org/pdf/pres/copuos2011/tech-05.pdf>, 2015
18. R. Coudé, "Radio Mobile". Obtenido, de <http://www.cplus.org/rmw/rme.html>, 2014