



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA ELÉCTRICA – TELECOMUNICACIONES

Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

PRESENTA:
ING. ELIZABET DE ARMAS SARDIÑAS

TUTOR PRINCIPAL
DR. JOSÉ MARÍA MATÍAS MARURI
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX, ENERO DE 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

“La posibilidad de realizar un sueño es lo que hace que la vida valga la pena”.

Paulo Coelho

“El intercambio de información en tiempo real es la columna vertebral de la cooperación en la prevención de una catástrofe, en las tareas de preparación para afrontarla, en la respuesta una vez producida y en la ayuda prestada a las personas afectadas”

Manual de telecomunicaciones de emergencia. UIT, 2005

JURADO ASIGNADO

Presidente: Dr. Víctor Rangel Licea

Secretario: Dr. Daniel Enrique Ceballos Herrera

1er. Vocal: Dr. José María Matías Maruri

2do. Vocal: Dr. Luis Francisco García Jiménez

3er. Vocal: Dr. Flores Miguel Moctezuma

La tesis se realizó en la Facultad de Ingeniería, UNAM.

TUTOR DE TESIS:

Dr. José María Matías Maruri

Agradecimientos

A mi familia por todo su amor y apoyo incondicional, ahora y siempre.

A mi esposo René por estar siempre ahí, por empujarme a romper mis límites, por arriesgarse conmigo en búsqueda de mi crecimiento profesional y por su amor.

A mi tutor el Dr. José María Matías Mauri por la confianza, el apoyo y tener la paciencia para la realización de esta tesis; y por sus enseñanzas, las cuales me permitieron ser mejor profesional y ser humano.

A mis amigos y compañeros de estudio de la maestría por la solidaridad, la amistad y el apoyo durante toda esta etapa.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de crecer profesionalmente, por esa gran formación educativa que me ha proporcionado. Gracias por dejarme sentir el orgullo de ser UNAM.

A mis profesores por ser pilares fundamentales de mi formación, los que me forjaron como ingeniera en la Universidad de Central de las Villas en Cuba, los del posgrado de ingeniería de la UNAM por todo el aporte a mi formación, me siento orgullosa de formar parte de sus alumnos. Al doctor Matías por confiar en mí.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado para poder realizar la Maestría.

A la DGAPA-UNAM por el apoyo otorgado al proyecto de investigación PAPIIT IT102519.

A todos

Gracias

Declaración de autenticidad

Por la presente declaro que, salvo cuando se haga referencia específica al trabajo de otras personas, el contenido de esta tesis es original y no se ha presentado total o parcialmente para su consideración para cualquier otro título o grado en esta o cualquier otra universidad. La información presentada en este trabajo se obtuvo de diversas fuentes que se consideran fidedignas y se consignan puntualmente en las referencias. El uso dado a la información es de naturaleza estrictamente de investigación académica y de divulgación, sin fines de lucro o de otra índole. Se ha hecho también el mayor esfuerzo por acreditar debidamente datos, opiniones y contenidos presentados, por lo que cualquier error u omisión en ello, es del todo involuntario

Ciudad de México, 6 de enero de 2021

Ing. Elizabet De Armas Sardiñas

Resumen

Los sistemas de alerta y emergencia a nivel mundial han surgido como respuesta a la creciente necesidad de evitar pérdidas de vidas humanas y materiales ante la ocurrencia de catástrofes. México, por su ubicación geográfica y su gran extensión territorial, está expuesto a fenómenos naturales tales como sismos, inundaciones, ciclones tropicales, lluvias intensas, erupciones volcánicas, etc. Por otro lado debido a las características socioeconómicas del país, pueden ocurrir otros fenómenos destructivos de carácter químico-tecnológico, sanitarios y ecológicos que afecten directamente la seguridad nacional. En la actualidad, México cuenta con una serie de instituciones y sistemas de monitoreo públicos, semipúblicos y privados para la detección de catástrofes y emisión de alertas. Usualmente los diferentes medios de difusión informan de las alertas generadas por estas instituciones y sistemas de monitoreo en las diferentes zonas del país. Sin embargo, no existe una plataforma oficial de generación de alertas ni cohesión en los mecanismos de difusión de las mismas, dado que a veces estas se reciben por medios de radiodifusión convencionales (radio y televisión), correos electrónicos, aplicaciones, sitios web u otros medios no oficiales. Esta situación puede crear confusión, dado que muchas veces la población no tiene el tiempo de comprobar que tan fidedigna es la información que recibe. Se añade a esto que en México existen zonas sin cobertura para redes de radiodifusión y otros sistemas de comunicaciones, lo que imposibilita la recepción de dichas alertas en todo el país.

En la presente investigación se realiza una propuesta de un sistema de alerta de emergencia integral para México basado en medios de comunicaciones existentes y/o no existentes, el cual permitiría la difusión de todo tipo de alertas de emergencias en el territorio nacional y garantizaría un origen común de las mismas, otorgándole confiabilidad y coherencia. Para ello se estudiaron las instituciones y sistemas de monitoreos mexicanos, con el fin de conocer las capacidades del país con respecto a la generación de alertas. Se estudiaron los sistemas de alertas de emergencia implementados en diferentes países del mundo, así como la tecnología de comunicaciones que soportan dichos sistemas, tanto actual como los posibles avances que tendrán en el futuro, para que el sistema propuesto no deje de ser factible por obsolescencia tecnológica. De los sistemas estudiados se tuvieron en cuenta las experiencias positivas de los diferentes países y la realidad tecnológica mexicana en materia de comunicaciones. También se estudiaron las tecnologías de telecomunicaciones que se están usando a lo largo del mundo para la transmisión de alertas de emergencia, para, en su caso, integrarlas en la propuesta.

La propuesta realizada se centra en dos medios de transmisión: los sistemas de radiodifusión y las redes móviles, adicionalmente incluye una solución basada en sistemas satelitales para hacer llegar la alerta a aquellas zonas sin coberturas de los sistemas anteriores. En la misma se propone el uso del Protocolo de Alerta Común (CAP) para transmitir los mensajes de alertas entre el organismo gubernamental (en este caso SINAPROC) y las empresas de telecomunicaciones que deberían realizar la difusión de alertas. En el caso de la radio AM se trabaja con medios convencionales de alertas (alerta sonora y mensajes de audio), en el caso de la radio FM se maneja la alerta a través de las capacidades de *Radio Data System* (RDS) y en el caso de la radio digital el sistema funciona con las facilidades de alertas de HD Radio (nombre comercial de IBOC). En la televisión, el sistema se adecua a las posibilidades de alerta de los estándares ATSC 1.0, ATSC M/H y a ATSC 3.0, esta última como tecnología en desarrollo que sustituirá a ATSC. Para las redes celulares, el sistema propone tanto para 4G como 5G el uso de *Cell Broadcast Service* (CBS). Finalmente, se presenta una propuesta satelital que cubriría las áreas del país que no disponen de cobertura de redes de comunicaciones. El sistema de recepción de alertas aprovecharía las posibilidades que brinda el protocolo de Encapsulación de Mensajes de Alerta Múltiple por Satélites (MAMES).

Abstract

Alert and emergency systems worldwide have emerged in response to the growing need to avoid loss of human and material life in the event of catastrophes. Mexico, due to its geographical location and its great territorial extension, is exposed to natural phenomena such as earthquakes, floods, tropical cyclones, heavy rains, volcanic eruptions, etc. On the other hand, due to the socioeconomic characteristics of the country, other destructive phenomena of a chemical-technological, health and ecological nature may occur this directly affects national security. Currently, Mexico has a series of institutions and public, semi-public and private monitoring systems for the detection of catastrophes and the issuance of alerts. Usually, the different media report the alerts generated by these institutions and monitoring systems in different areas of the country. However, there is no official platform for the generation of alerts or cohesion in the mechanisms for their dissemination, since sometimes these are received by conventional radio broadcasting means (radio and television), emails, applications, websites or others. official media. This situation can create confusion, since many times the population does not have the time to verify how reliable the information they receive is. In addition to the problem above, there exist areas in Mexico in which radio broadcasting cannot work correctly; therefore, reception alerts cannot propagate throughout the country.

In this research, a proposal is made for a comprehensive emergency alert system for Mexico based on existing and / or non-existent communication means, which would allow the dissemination of all types of emergency alerts in the national territory and would guarantee an origin common to them, giving it reliability and consistency. For this, Mexican institutions and monitoring systems were studied, in order to know the country's capacities with respect to the generation of alerts. The emergency alert systems implemented in different countries of the world were studied, as well as the communications technology that these systems support, both current and the possible advances that they will have in the future, so that the proposed system does not cease to be feasible due to obsolescence. technological. From the systems studied, the positive experiences of the different countries and the Mexican technological reality regarding communications were taken into account. The telecommunications technologies that are being used throughout the world for the transmission of emergency alerts were also studied, in order to integrate them into the proposal, if necessary.

The proposal made focuses on two means of transmission: broadcasting systems and mobile networks, but also includes a solution based on satellite systems to send the alert to those areas without coverage of the previous systems. It proposes the use of the Common Alert Protocol (CAP) to transmit alert messages between the government agency (in this case SINAPROC) and the telecommunications companies that should broadcast alerts. In the case of AM radio, it works with conventional means of alerts (sound alert and audio messages), in the case of FM radio, the alert is handled through the Radio Data System (RDS) capabilities and in the case of from digital radio, the system works with HD Radio (trade name IBOC) alert facilities. In television, the system conforms to the alert capabilities of the ATSC 1.0, ATSC M / H and ATSC 3.0 standards, the latter as a technology under development that will replace ATSC. For cellular networks, the system proposes for both 4G and 5G the use of the Cell Broadcast Service (CBS). Finally, a satellite proposal is presented that would cover the areas of the country that do not have communications network coverage. The alert reception system would take advantage of the possibilities offered by the Multiple Satellite Alert Message Encapsulation protocol (MAMES).

1	Introducción.....	1
1.1	Sistemas de Alerta y Emergencia.....	1
1.2	Motivación y Problemática.....	2
1.3	Objetivos.....	3
1.4	Contribuciones.....	4
1.5	Metodología.....	4
1.6	Estructura de la tesis.....	5
2	Sistemas de Alerta de Emergencia existentes en México.....	6
2.1	Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC).....	7
2.2	Servicio Sismológico Nacional (SSN).....	8
2.3	Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX).....	8
2.4	Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT).....	9
2.5	Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis.....	10
2.6	Sistema de Alerta Temprana de Incendios en México.....	11
2.7	Sistema de Monitoreo del Volcán Popocatepetl.....	11
2.8	Servicio Meteorológico Nacional (SMN).....	11
2.9	Servicio de Clima Espacial México (SCIESMEX).....	12
2.10	Problemáticas de los SAE en México.....	13
3	Sistemas de Alerta de Emergencia en el mundo.....	16
3.1	Marco regulatorio de las telecomunicaciones de emergencia de la UIT.....	16
3.2	Protocolo CAP (v 1.2).....	17
3.2.1	Estructura del mensaje de alerta CAP.....	18
3.2.2	Aplicaciones del Protocolo CAP.....	19
3.3	Sistemas de alertas de emergencias en redes móviles.....	19
3.3.1	Sistema de alerta por SMS basado en la ubicación.....	20
3.3.2	Notificaciones de alertas basadas en aplicaciones.....	21
3.3.3	Sistema de Transmisión Móvil (CBS).....	21
3.3.4	Tecnología e Implementación de CBS.....	22
3.3.5	Configuración y transmisión de un mensaje del CBS.....	23
3.3.6	Principales retos para la eficaz implementación de CBS.....	24
3.4	Sistemas de alertas de emergencias en radiodifusión.....	25
3.4.1	Características de sistemas de alerta de emergencia por radiodifusión analógica.....	26
3.4.2	Características de sistemas de alerta de emergencia por radiodifusión digital.....	30
3.5	Sistemas de alertas de emergencias en redes satelitales.....	30

3.5.1	Protocolo de Encapsulación de Mensajes de Alerta Múltiple por Satélites (MAMES).....	31
3.5.2	Trama y tipos de mensajes MAMES.....	32
3.5.3	Diferentes escenarios en la recepción de alertas MAMES.....	33
3.5.4	Integración de MAMES con una red de transmisión por satélite fijo	34
3.6	Otros medios para la transmisión de alertas	35
3.7	Ejemplo de sistemas de alertas de emergencias	36
3.7.1	Estados Unidos.....	36
3.7.2	Japón	36
3.7.3	Canadá.....	37
3.7.4	Chile	37
3.7.5	Suecia	37
3.7.6	Barbados.....	38
3.7.7	Sri Lanka	39
4	Tecnologías en Desarrollo de Sistemas de Alertas y Emergencias.....	40
4.1	Normatividad.....	40
4.1.1	Características de los Lineamientos del PAC en México.....	41
4.2	Radio Digital Terrestre (RDT)	42
4.2.1	Sistema C – IBOC o NRSC-5	42
4.2.2	Principales estándares de RTD.....	43
4.2.3	Capacidades de alerta de emergencia de IBOC.....	43
4.2.4	Sistema de Transmisión de Alertas de IBOC	44
4.2.5	México y su transición a RDT.....	45
4.3	Estándar de Televisión Digital Terrestre ATSC 3.0.....	47
4.3.1	ATSC 3.0 y los sistemas de alertas	48
4.4	Redes Móviles 5G	50
4.4.1	Arquitectura redes 5G	51
4.4.2	Consideraciones para las políticas regulatorias de redes 5G en situaciones de emergencia.....	52
4.4.3	Caso de Estudio: <i>Wireless Emergency Alert</i> (WEA) y redes 5G	53
4.4.4	Redes 5G y CBS.....	54
4.4.5	México y su transición a la tecnología 5G	55
5	Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México.....	56
5.1	Características del Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México	56
5.2	Propuesta SAE Integral México.....	58
5.3	Implementación del Protocolo CAP.....	60
5.4	Propuesta del Sistema de Alerta de Emergencia sobre Redes Móviles.....	62
5.4.1	Justificación de la propuesta.....	62
5.4.2	Estructura y funcionamiento de CBS para México	65
5.5	Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia sobre Televisión Digital.....	67

5.5.1	Justificación de la propuesta.....	67
5.5.2	Estructura y funcionamiento de SAE sobre TDT para México.....	70
5.6	Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia sobre Radiodifusión Sonora.....	71
5.6.1	Justificación de la propuesta.....	71
5.6.2	Estructura y funcionamiento de SAE sobre radiodifusión sonora analógica y digital para México	73
5.7	Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia para zonas de silencio	76
5.7.1	Justificación de la propuesta.....	76
5.7.2	Estructura y funcionamiento de SAE satelital.....	78
5.8	Comparación entre la Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México y los Lineamientos del PAC	81
6	Conclusiones	84
7	Bibliografía	86

Índice de figuras

Figura 1. Sistemas de alertas mexicanos	6
Figura 2. Dirección del SINAPROC	7
Figura 3. Organigrama SCIESMEX	13
Figura 4. Arquitectura básica de un CBS	23
Figura 5. Arquitectura básica de un SAE	24
Figura 6. Composición del sistema de alerta de emergencia por radiodifusión sonora analógica	26
Figura 7. Configuración de la señal de arranque SAE	27
Figura 8. Configuración de la señal de finalización SAE	27
Figura 9. Formato de mensajes RDS	28
Figura 10. Bloque 3 y 4 grupo 2	28
Figura 11. Bloque 3 y 4 grupo 2B	28
Figura 12. Descripción General del Funcionamiento de MAMES	32
Figura 13. Clasificación de los escenarios de alerta de MAMES	33
Figura 14. Integración de MAMES con una red de transmisión por satélite fijo	35
Figura 15. Evolución Sistema de Alerta de Emergencia de Suecia.	38
Figura 16. Sistema de transmisión de IBOC	44
Figura 17. Cobertura RDT FM	46
Figura 18. Cobertura RDT AM	46
Figura 19. Conjunto de estándares de ATSC 3.0	47
Figura 20. Arquitectura por capas ATSC 3.0	47
Figura 21. Cronología del desarrollo y despliegue de las IMT	50
Figura 22. Arquitectura NSA	52
Figura 23. Arquitectura SA	52
Figura 24. Modelo de Referencia AMF	54
Figura 25. Diagrama General Propuesta de SAE Integral para México	58
Figura 26. Zonas de Cobertura 3G/4G	63
Figura 27. Estructura de CBS para México	66
Figura 28. Cobertura TDT	68
Figura 29. Estructura SAE sobre TDT para México	70
Figura 30. Cobertura servicio AM analógico	72
Figura 31. Cobertura servicio FM analógico	73
Figura 32. Estructura SAE sobre radiodifusión sonora para México	74
Figura 33. Localidades sin cobertura de servicio de radiodifusión en México	77
Figura 34. Estructura SAE satelital para México	78
Figura 35. Diagrama sistema recepción SAE satelital	81

Índice de tablas

Tabla 1. Características de los SAE en México	14
Tabla 2. Segmentos del mensaje de alerta CAP	18
Tabla 3. Estructura básica de un mensaje CBS	22
Tabla 4. Características CBS para México.....	64
Tabla 5. Comparación Lineamientos del PAC y Propuesta SAE Integral para México	82

Listado de acrónimos

5GC	<i>5G Core</i>
AEA-MF	<i>Advanced Emergency Alert-Message Format</i>
AEAS	<i>Automatic Emergency Alert Sytem</i>
AEAT	<i>Advanced Emergency Alert Table</i>
AEM	Agencia Espacial Mexicana
AMF	<i>Access and Mobily Management Function</i>
AN	<i>Access Network</i>
ATSC	<i>Advanced Television Systems Committee</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
CA	Colector de Alertas
CAP	<i>Common Alerting Protocol</i>
CAT	Centro de Alerta de Tsunamis
CBC	<i>Cell Broadcast Center</i>
CBCF	<i>Cell Broadcast Center Function</i>
CBE	<i>Cell Broadcast Entity</i>
CBS	<i>Cell Brodcast Service</i>
CC	<i>Closed Caption</i>
CDR	<i>Convergent Digital Radio</i>
CE	Clima Espacial
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CIRES	Centro de Instrumentación y Registro Sísmico
CMAS	<i>Commercial Mobile Alert System</i>
CNA	Centro Nacional de Alertas
CNPC	Coordinación Nacional de Protección Civil
COFDM	<i>Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y tecnología
DAB	<i>Digital Audio Broadcasting</i>
DEM	<i>Department of Emergency Management</i>
DEWS	<i>Disaster EmergencyWarning System</i>
DGPC	Dirección General de Protección Civil
DOF	Diario Oficial de la Federación
DTMB	<i>Digital Terrestrial Television Multimedia Broadcasting</i>
DVB-SI	<i>Digital Video Broadcasting- Service Information</i>
DVB-T	<i>Digital Video Broadcasting- Terrestrial</i>
EAT	<i>Emergency Alert Table</i>
EBS	<i>Emergency Broadcasting System</i>
EEWS	<i>Earthquake Early Warning Syste</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
EWB	<i>Emergency Warning Broadcasting</i>
EWS	<i>Emergency Warning System</i>

FCC	<i>Comisión Federal de Comunicaciones</i>
FDM	<i>Frequency division multiplexing</i>
FEMA	<i>Federal Emergency Management Agency</i>
GIAC CT	<i>Grupo Inter-institucional de Análisis y Coordinación para Ciclones Tropicales</i>
GIC	<i>Geomagnetically induced currents</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i>
HDR	<i>High Dynamic Range</i>
HEVC	<i>High Efficiency Video Coding</i>
HFR	<i>High Frame Rate</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IBOC	<i>In Band On Channel</i>
ICTSW	<i>Inter-programme Coordination Team on Space Weather</i>
IMSS	<i>Instituto Mexicano del Seguro Social</i>
ISDB-T	<i>Integrated Services Digital Broadcasting for Terrestrial TV</i>
ISES	<i>International Space Environment Service</i>
JPEG	<i>Joint Photographic Experts Group</i>
LB-SMS	<i>Location-Based- Short Message Service</i>
LDM	<i>Layered-division-multiplexing</i>
LDPC	<i>Low-Density Parity Check</i>
LLS	<i>Low Level Signaling</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAME	<i>Multiple Alert Message Encapsulation over Satellite</i>
MDC	<i>Modulación por Desplazamiento de Frecuencia</i>
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple Output</i>
MN	<i>Master Node</i>
MPEG	<i>Moving Pictures Expert Group</i>
NG-AP	<i>NG Application Protocol</i>
NG-RAN	<i>NG Radio Access Network</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NRSC	<i>National Radio Systems Committee</i>
NRT	<i>Non-Real Time</i>
ODA	<i>Open Data Application</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OMM	<i>Organización Meteorológica Mundial (WMO por sus siglas en inglés)</i>
ONU	<i>Organización de Naciones Unidas</i>
PLP	<i>Physical Layer Pipes</i>
PMO	<i>Project Management Office</i>
PTWC	<i>Pacific Tsunami Warning Center</i>
RAVIS	<i>Real-time AudioVisual Information System</i>
RBDS	<i>Sistema de Datos de Radiodifusión</i>
RDS	<i>Radio Data System</i>
RDT	<i>Radio Digital Terrestre</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>

SAE	Sistema de Alerta de Emergencia (EAS en inglés)
SAP	Sistemas de Alarma Pública
SAS	Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de México
SASMEX	Sistema de Alerta Sísmica Mexicano
SASPER	Sistema de Alerta Sísmica Personalizada
SCIESMEX	Servicio de Clima Espacial México
SEMAR	Secretaría de Marina
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEP	Secretaría de Educación Pública
SIAT-CT	Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales
SIG	Sistema de Información Geográfica (GIC por sus siglas en inglés)
SINAPROC	Sistema Nacional de Protección Civil
SINAT	Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis
SIS	<i>Station Information Service</i>
SISO	<i>Single-Input Single-Output</i>
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SMS	<i>Short Message Service</i>
SN	<i>Secondary Node</i>
SSN	Servicio Sismológico Nacional
TDM	<i>Time Division Multiplexing</i>
T-DMB	<i>Terrestrial Digital Multimedia Broadcasting</i>
TDT	Televisión Digital Terrestre
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU en inglés)
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
VDS	<i>Video Description Service</i>
VOST	<i>Virtual Operation Support Team</i>
WEA	<i>Wireless Emergency Alerts</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

Capítulo 1

1 Introducción

En la descripción del marco institucional de las telecomunicaciones de emergencia se define lo que significa “emergencia”. *Una emergencia es una situación que requiere una respuesta urgente* [1]. La respuesta inicial, en dependencia de las circunstancias, será responsabilidad de la persona presente en ese momento, la cual utilizará los medios disponibles en el lugar. Cualquier otra intervención adicional que se considere necesaria puede movilizarse principalmente a través de las telecomunicaciones [1].

El Secretario General de las Naciones Unidas, Kofi Annan, al destacar el papel de las telecomunicaciones en la asistencia humanitaria, declaró:

“La actividad humanitaria es una de las tareas más importantes y, al propio tiempo, una de las más difíciles de las Naciones Unidas. No se puede cuantificar el sufrimiento humano, cuyas proporciones escapan a menudo a nuestra imaginación, incluso si las noticias sobre catástrofes naturales y de otra naturaleza llegan hasta todos los rincones del globo virtualmente en tiempo real. Una respuesta apropiada sólo es posible si se dispone en el momento apropiado de información precisa sobre las áreas siniestradas, con frecuencia lejanas e inaccesibles. En toda la cadena de la movilización de asistencia y la logística a fin de hacer llegar la asistencia a sus destinatarios, son indispensables unos enlaces de telecomunicaciones fiables” [2].

Las telecomunicaciones son muy importantes en todas las etapas de la gestión de una catástrofe. Gracias a equipos de telecomunicaciones como satélites, a los radares, a los equipos de telemetría y a los pronósticos meteorológicos, es posible contar hoy con un sistema de detección a distancia que permite dar una alerta inmediata. Antes de que se produzca una situación de emergencia, las telecomunicaciones permiten transmitir información sobre la inminencia de la misma con el objetivo de que se tomen todas las precauciones necesarias para aliviar sus consecuencias [1]. Un ejemplo de ello fue el mensaje de alertas transmitido con varios días de antelación por las autoridades de Jamaica en el año 2004 ante la llegada del huracán Iván. Debido a esa alerta, Jamaica se preparó para afrontar esa tempestad de nivel 5, el más alto en la escala Saffir-Simpson [2]. Otros países de la región como Barbados, San Vicente y Santa Lucía recurrieron a las telecomunicaciones y a la radiodifusión para organizar las actividades previas a la llegada de dicho huracán.

1.1 Sistemas de Alerta y Emergencia

En 2004, un terremoto de escala 9.3 asoló la población de Banda Aceh en Indonesia, causando miles de muertos y grandes daños materiales. El tsunami que produjo el terremoto causó muertes a grandes distancias en las costas del océano Índico, desde Tailandia hasta Tanzania. Fue una de las mayores catástrofes naturales jamás ocurridas. El balance de muertos superó las doscientas mil personas en la zona afectada [3].

Debido a esta gran tragedia, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) se interesó en las comunicaciones de emergencias y pidió contribuciones que ayudaran a desarrollar Sistemas de

Alerta de Emergencias (SAE) [4] o Sistemas de Alertas Temprana como aparecen en otras bibliografías [5][6]. Los SAE son “*un conjunto de elementos relacionados entre sí que proveen información oportuna y eficaz a los individuos y a las comunidades expuestas a una amenaza y a las autoridades correspondientes para actuar con tiempo suficiente y de una manera apropiada, para reducir el riesgo de daño personal, pérdida de la vida, daño a sus propiedades y al medio ambiente*” [5]. Algunos de estos eventos potencialmente destructivos son de origen natural como terremotos, tsunamis, huracanes o provocados por la mano del hombre como ataques por terrorismo, accidentes químicos, etc.

Los SAE ya existían anteriormente en algunos países, como por ejemplo los EE.UU. que tienen sistemas de alerta de emergencia desde los años 60, o Japón que desarrolló un SAE en los años 80. El medio más común para hacer llegar a la población en general una alerta de emergencia ha sido tradicionalmente la radiodifusión, debido a su carácter universal, bajo costo, y cobertura. Sin embargo, los SAE de la actualidad contemplan el uso de las redes celulares, debido a su amplia penetración en la población [7].

México es un país que por su extensión y ubicación geográfica está expuesto a infinidad de fenómenos naturales. Algunos de ellos han provocado a lo largo de la historia grandes pérdidas de vidas y recursos económicos como fue el sismo de 1985 [8]. Con el fin de mitigar los daños causados por estos fenómenos y por otros causados por actividades humanas el país cuenta con una serie de sistemas de alertas tempranas como es el caso del Sistema de Alerta Sísmico Mexicano (SASMEX), el cual le da cobertura a la Ciudad de México, Oaxaca, Chipancingo, Acapulco y Morelia y cuenta con sistema de receptores dedicados que generan una alarma sonora ante el impacto de los efectos de un sismo [5]. Pero a pesar de su innegable utilidad, como se puede ver su alcance geográfico es limitado.

Por otro lado, el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) ha presentado un anteproyecto de disposición técnica para obligar a las empresas radiodifusoras y operadores de redes celulares a operar un sistema de aviso de emergencias. Según el anteproyecto, la Secretaría de Gobernación es la responsable de generar los avisos, y las empresas están obligadas a difundirlos. Los pasos dados están en la dirección correcta, sin embargo, debido al carácter de los documentos normativos, este anteproyecto aún no se ha hecho efectivo [9].

1.2 Motivación y Problemática

Las telecomunicaciones vinculadas a los Sistemas de Alerta de Emergencia es un tema que ha ido ganando en importancia en los últimos años [1]. Con el desarrollo de mayores prestaciones tanto para la radiodifusión con estándares como ATSC M/H y ATSC 3.0 para televisión, IBOC para radio digital y 4G e incluso 5G para redes celulares. Estos estándares permiten que la comunicación asociada a un SAE pueda tener las siguientes características [10][11]:

- ✓ Alta prioridad. A pesar de que únicamente generen información en casos esporádicos, es esencial que la información llegue a los usuarios a la mayor brevedad posible y con total seguridad. Es decir, la información de SAE es prioritaria prácticamente por encima de cualquier otro tipo de comunicación. Por ello, no es recomendable que la información del SAE se trate de igual forma que otras informaciones.
- ✓ Sistemas de comunicación. Los SAE pueden usar sistemas de comunicación genéricos (como radio, televisión o redes celulares) en uso o sistemas dedicados. En el primer caso, cuando se produce una información SAE, debe ser enviada con alta prioridad. En el

segundo caso, debe tener métodos de comprobación regular de que el sistema funciona correctamente.

- ✓ Flujo de datos pequeño. Además de ser informaciones eventuales, usualmente la información de un SAE debe ser corta, fácilmente inteligible y muy clara. No suelen suponer grandes flujos de datos, es decir, son pequeños flujos de datos de alta prioridad.
- ✓ Ámbito geográfico definido. Los mensajes de SAE deben limitarse al área geográfica en que puede ocurrir el evento catastrófico. El hecho de que se generen demasiadas alertas y que no sean justificadas producen desconfianza en los ciudadanos, y con ello, se reduce la efectividad de la alerta en un evento que sí sea catastrófico.

El problema que se observa en la actualidad en México es que, a pesar de que las autoridades han detectado que es necesario generar un aviso a la población en general del advenimiento de una posible catástrofe, todavía no se le ha dado una visión global. En México los sistemas de alerta temprana usualmente, dependiendo de la emergencia, trabajan como instrumentos aplicados regionalmente. No se guardan registros oficiales o controles puntuales que puedan acotar acciones a escala municipal [6]. Dada la situación existente, los sistemas aplicados responden a una sistematización y coordinación entre los tres niveles de gobierno, y estos utilizan a expertos que a través de argumentaciones sobre el temas respaldan la toma de decisiones y la declaración de un estado de alerta [6].

Las soluciones actuales o en proceso no tienen carácter genérico en los siguientes aspectos:

- ✓ Geográfico: solo están diseñados para ciertas áreas geográficas, como los sistemas de alerta sísmica, o se emiten a todo el país, como las alertas de huracanes.
- ✓ Tipo de evento: El sistema de alerta sísmica solo avisa de terremotos, por ser los eventos destructivos más habituales en México, y por el corto tiempo de aviso que conllevan. Las demás alertas (huracanes, lluvias torrenciales, etc) se emiten a través de los medios de comunicación masiva a través de las noticias, pero no de SAEs.
- ✓ Medio de comunicación: Hasta ahora solo existen sistemas con medios de comunicación dedicados (sistemas de alerta sísmica de la Ciudad de México y de Oaxaca). Y el anteproyecto de la IFT incluye la transmisión por medio de radiodifusoras (radio y televisión) y redes celulares. Sin embargo, a pesar de ser un gran avance, estos medios dejan en situación de vulnerabilidad a grandes zonas rurales de México, donde no se tiene cobertura.

Aunque se han realizado investigaciones en el país sobre la implementación de un SAE utilizando la televisión digital terrestre, no se ha realizado una propuesta de implementación de Sistema de Alerta de Emergencia Integral que informe todo tipo de catástrofes y que llegue a todas las regiones geográficas del país y que esté acorde al panorama internacional existente.

1.3 Objetivos

Generales

El objetivo del presente proyecto es proponer un Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México completo y de futuro basado en medios de comunicaciones existentes y/o no existentes, pensando en la situación tecnológica, geográfica, y política tanto actual como futura del país, de forma que se pueda ir desarrollando en unos años, y tenga una cobertura nacional.

Específicos

- ✓ Realizar una búsqueda bibliográfica del estado del arte sobre telecomunicaciones de emergencia y su nivel de aplicación de México. Regulaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).
- ✓ Analizar las características de los sistemas de alerta de emergencia (SAE) en funcionamiento y en desarrollo en el mundo, para tener una visión global de los sistemas existentes.
- ✓ Estudiar las propuestas futuras y tendencias en el área de las SAE para identificar las áreas de oportunidad y desarrollar la propuesta. Esto incluye a las áreas de: normatividad, sistemas de telecomunicaciones, métodos decodificación y modulación, electrónica y protocolos de comunicaciones.
- ✓ Conocer las entidades mexicanas que emitan alertas de emergencia por diferentes tipos de evento, para integrarlas en el SAE a proponer.
- ✓ En función de los resultados anteriores realizar una propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencias Integral para México que abarque los principales tipos de alertas y que tenga cobertura a toda la población, a ser posible a través de medios de comunicación existentes (radiodifusión y redes celulares) y/o no existentes.

1.4 Contribuciones

Con la propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México que tenga en cuenta el desarrollo tecnológico actual y futuro del país, se podrá contar con una herramienta que reduzca la pérdida de vidas humanas y daños materiales a lo largo de todo el territorio mexicano, en caso de advenimiento de un evento catastrófico. Este trabajo de investigación se centrará en proveer certeza técnica sobre las posibilidades de implementación y funcionamiento de las principales tecnologías y estándares de los sistemas móviles, de radiodifusión y satelitales relacionados con la trasmisión de alertas en situaciones de emergencia. Los resultados alcanzados podrán ser utilizados por organismos como la IFT y el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) en la creación de un sistema de alerta nacional.

1.5 Metodología

En esta investigación se realiza una recopilación de la información técnica-científica relacionada con los mecanismos y sistemas de alertas de emergencias tanto mexicanos como internacionales y la tecnología de comunicaciones relacionada con los mismos. Se realiza además una propuesta teórica de un sistema de alerta de emergencia integral para México.

Este trabajo de tesis se desarrolla en tres etapas. En la primera etapa se estudiarán las principales instituciones y sistemas de monitoreo para la detección de catástrofes y emisión de alertas de emergencias existentes en México y se analizarán sus características principales.

En la segunda etapa, se estudiarán las tendencias existentes en la comunidad científica en el área de las comunicaciones de emergencia, con el objeto de proponer un sistema que, no solo se base en las posibilidades técnicas actuales, sino que esté preparado para acoger en el futuro las mejoras técnicas que se desarrollen. Para ello se analizarán los mecanismos de alertas de emergencia presentes en los sistemas de radiodifusión y redes celulares y la evolución de los estándares actuales de estos medios de comunicación que representen una oportunidad para el progreso de los sistemas de alertas de emergencias actuales.

En la tercera etapa se realizará la propuesta del Sistema de Alerta de Emergencias. La propuesta se dividirá en dos partes fundamentales. Por una parte, se propone el SAE para los tres medios de comunicación más usuales, la radio, la televisión y las redes de celulares. No solo se propone un sistema para las tecnologías actuales (que estará basado en el anteproyecto de la IFT), sino que se presentan adecuaciones al mismo con vistas a que el sistema se pueda adecuar a las futuras tecnologías. En el caso de la radio, el sistema debe funcionar con el estándar de radio digital HD Radio, ya aceptado por la IFT. En el caso de la televisión, el SAE debe poder adecuarse a ATSC 3.0, tecnología en desarrollo que sustituirá a ATSC 1.0. Finalmente, para las redes celulares, el SAE deberá poder adaptarse a la tecnología 5G.

La segunda parte de la propuesta estará enfocada a dar servicio a las zonas remotas del país, sin cobertura de radiodifusión ni redes celulares. Para ello se realizará la propuesta de un sistema de recepción satelital a través del uso del protocolo de Encapsulación de Mensajes de Alerta Múltiple por Satélites (MAMES) y el sistema satelital mexicano para la recepción de mensajes de alertas en determinadas zonas del país.

1.6 Estructura de la tesis

Esta tesis se divide en 6 capítulos. En el capítulo 2 se estudian los principales sistemas e instituciones de alertas de emergencia en México y sus principales características. En el capítulo 3 se analizan sistemas de alerta de emergencias internacionales lo que incluye normatividad de la UIT, principales medios de transmisión que utilizan y algunos ejemplos de estos sistemas. En el capítulo 4 se investiga las normativas, estándares y tecnologías de sistemas de telecomunicaciones en desarrollo, que pueden ser utilizadas por los sistemas de alerta de emergencia. En el capítulo 5 se realiza la propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México. Por último, en el capítulo 6 se arriba a las conclusiones.

2 Sistemas de Alerta de Emergencia existentes en México

México cuenta con servicios y sistemas de alerta para diversas amenazas como se puede observar en la [Figura 1](#), los cuales han sido desarrollados y estructurados por las instituciones pertinentes en cada materia. Estos sistemas, así como las instituciones que los organizan están en continuo desarrollo y se trabaja para hacerlos cada vez más eficientes [\[5\]](#).



Figura 1. Sistemas de alertas mexicanos [\[5\]](#)

En este capítulo, se estudiarán estos sistemas de alertas, incluyendo las instituciones involucradas con su dirección o coordinación, como es el caso del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC), que es el organismo encargado de la protección civil en México, y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), que es el organismo encargado de crear, gestionar y promover políticas públicas en materia de prevención de desastres. Se estudiarán las principales características de estos SAEs con el fin de poder definir sus principales fortalezas y problemáticas

2.1 Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC)

Las bases para la creación del Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) fueron publicadas en el Diario Oficial de la Federación en mayo de 1986. Los eventos que catalizaron este proceso fueron los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985. El principal objetivo del SINAPROC es *proteger a las personas y a la sociedad ante la eventualidad de un desastre provocado por agentes naturales o humanos, a través de acciones que eliminen la pérdida de vidas humanas, la destrucción de bienes materiales y el daño a la naturaleza, así como la interrupción de las funciones esenciales de la sociedad* [12].

El SINAPROC está compuesto por el presidente de la República, el Consejo Nacional de Protección Civil, las Dependencias, Organismos e Instituciones de la Administración Pública Federal, el CENAPRED, por los Sistemas de Protección Civil de las Entidades Federativas y de los Municipios y por los grupos voluntarios, vecinales y no-gubernamentales [12].

Según lo planteado en la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, la institución gubernamental responsable de la organización de SINAPROC es la Secretaría de Gobernación. Por lo cual esta institución es responsable de dirigir los mecanismos y políticas de prevención y atención de los riesgos, los desastres y las crisis consecuentes [13].

Para su funcionamiento y operación del sistema, la Secretaría de Gobernación cuenta con la Coordinación General de Protección Civil, compuesta por la Dirección General de Protección Civil (DGPC), la Dirección General del Fondo de Desastres Naturales y el Centro Nacional de Prevención de Desastres (Figura 2)[12].

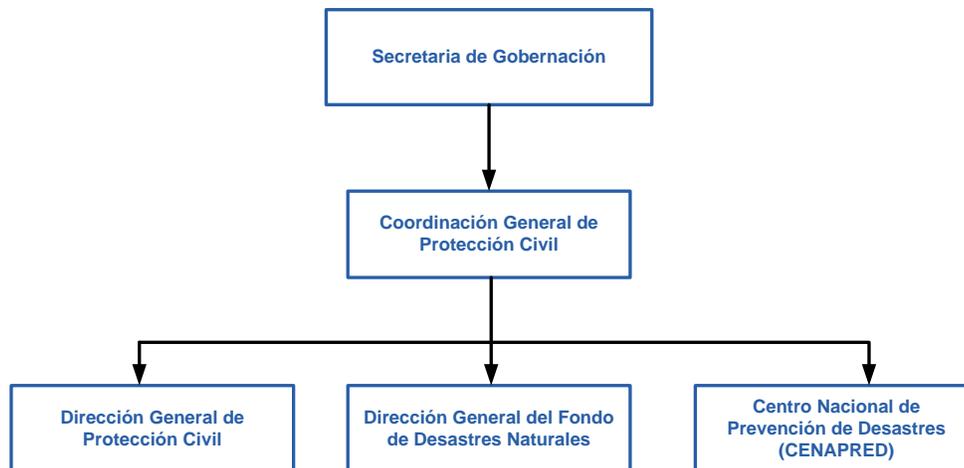


Figura 2. Dirección del SINAPROC

El CENAPRED es la institución técnica-científica del SINAPROC encargada de *crear, gestionar y promover políticas públicas en materia de prevención de desastres y reducción de riesgos a través de la investigación, el monitoreo, la capacitación y la difusión* [12]. Las responsabilidades del CENAPRED comprenden el apoyo técnico al SINAPROC, la dirección de la Escuela Nacional de Protección Civil, la integración del Atlas Nacional de Riesgos, la coordinación del monitoreo y alertamiento de fenómenos perturbadores, promover el aumento de la resiliencia de la sociedad en su conjunto, y poner en funcionamiento, junto con DGPC, los Sistemas de Alerta de Emergencia [12].

La Ciudad de México y los 31 gobiernos estatales cuentan con sus Sistemas Estatales y Municipales de Protección Civil, y estos trabajan conjuntamente con la Secretaría de Gobernación, la cual también se apoya en el sector financiero, las unidades internas de Protección Civil de la Administración Pública Federal, en los brigadistas comunitarios y en los grupos voluntarios

2.2 Servicio Sismológico Nacional (SSN)

El Servicio Sismológico Nacional se fundó el 5 de septiembre de 1910. Desde 1929 se integró a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y en 1948 pasó a formar parte Instituto de Geofísica de la UNAM. Su principal misión es *registrar, almacenar y distribuir datos del movimiento del terreno para informar sobre la sismicidad del país a las autoridades y a la población en general, promover el intercambio de datos y cooperar con otras instituciones de monitoreo e investigación a nivel nacional e internacional* [14].

Los objetivos del SSN se pueden agrupar de la siguiente manera [14]:

- ✓ Implementar una red de monitoreo de sismos en el país, que trabaje de manera continua y sea confiable.
- ✓ Monitorear continuamente los eventos sísmicos que ocurran en el país, utilizando herramientas de velocidad, aceleración, y desplazamiento.
- ✓ Informar eficiente y oportunamente sobre la magnitud y ubicación de un sismo. Además, siempre y cuando el alcance de la red lo posibilite, debe brindar a los organismos involucrados los parámetros necesarios para difundir alertas de emergencias y/o comenzar protocolos de protección civil.
- ✓ Archivar y distribuir de manera eficiente toda la información y datos generados a la comunidad científica mundial.
- ✓ Crear y mantener un proyecto de difusión y divulgación de la sismología.

El Servicio Sismológico Nacional, aunque no esté constituido exactamente para funcionar como un sistema de alerta temprana brinda información indispensable para incrementar la capacidad de evaluación y prevención del riesgo sísmico y volcánico. El SSN emite principalmente dos tipos de alertas: para sismos fuertes difunde una alerta pública y para sismos moderados difunde una alerta preventiva. El tiempo de aviso es de aproximadamente 30 segundos entre el comienzo de la señal de alerta y el momento inicial donde el efecto sísmico entra en su fase de mayor fuerza [6].

2.3 Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX)

El Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES), con el apoyo de las autoridades de la Ciudad de México y de investigadores de diferentes instituciones como el Instituto de Ingeniería de la UNAM y el Centro de Investigación Sísmica de la Fundación Javier Barrios Sierra, desarrolló a partir de 1989 el Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de México (SAS) [8].

El SAS es un sistema complejo compuesto por estaciones sonoras, estaciones repetidoras, estaciones centrales de registro, y un sistema de difusión de alertas. Este sistema de difusión de alertas difunde de tres maneras vía radio las señales generadas por el CIRES en caso de sismos [8]:

- ✓ Enlace directo CIRES - usuario: Se emplea con aquellos usuarios que por el número de personas que emplean o que acuden a sus instalaciones (METRO, CFE, IMSS, SEP, etc.) tienen la capacidad y el interés de colaborar en el financiamiento de los gastos originados por la operación, conservación y mejoras del sistema.

- ✓ Enlaces mediante radiodifusoras: Se emplea este enlace a fin de ampliar lo más posible el alcance público de la señal de alerta sin incurrir en costos, puesto que el público no necesita invertir en equipo alguno.
- ✓ Enlace por telecontrol digital: Se emplea en aquellos sistemas críticos que pueden controlarse remota y selectivamente y con aquellos usuarios que pueden cubrir los costos del equipamiento requerido.

El Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (SASMEX) está conformado desde 1991 por el Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de México (SAS) y se le adicionó en el 2003 el Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de Oaxaca (SASO). El SASMEX está expandiendo su radio de acción a otras regiones de alta sismicidad, que eventualmente pudieran afectar a ciudades vulnerables.

El CIRES desarrolló dos receptores para transmitir los avisos del SASMEX: el Sistema de Alerta Sísmica Personalizada (SASPER) y el receptor de radio SARMEX. El SASPER se utiliza en radiodifusoras, universidades, instituciones gubernamentales, varias escuelas de educación básica tanto privadas como públicas, y en el Metro de la Ciudad de México. El receptor SARMEX censa en silencio y emite una alerta perceptible cuando los efectos de un sismo son inminentes. En la actualidad este receptor se distribuye en las escuelas públicas de la CDMX, pero también pueden adquirirse de forma particular [15].

Tanto SAS como SASO difunden sus alertas de emergencia de manera similar, adicionalmente SASO realiza difusión de alertas en las calles a través de altavoces colocados en localizaciones específicas de la Ciudad de Oaxaca. Además, desde su implantación SASO cuenta con el apoyo de las estaciones locales de radio y TV comerciales [16]. El sistema ha identificado y emitido advertencias de todos los grandes terremotos que han ocurrido desde su inicio. Si bien el SAS de la Ciudad de México ha experimentado grandes avances tecnológicos y sismológicos, todavía falta una tarea para establecer políticas públicas claras y protocolos para la distribución y el uso de la alerta, algo que los científicos sociales involucrados en esta iniciativa siempre han exigido desde el comienzo [17].

2.4 Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT)

En el año 2000 se implementó, como un instrumento de coordinación que sirviera para alertar a la población frente a amenazas ciclónicas, el Sistema de Alerta Temprana para Ciclones Tropicales (SIAT-CT). El mismo es el encargado de sistematizar y aplicar coordinadamente las acciones inmediatas que permitan responder de forma urgente a las necesidades primarias de protección a la vida humana y los recursos económicos [18].

En el año 2017 se tomó la decisión por parte de un grupo multidisciplinario integrado por personal del CNPC en conjunto con el Grupo Inter-institucional de Análisis y Coordinación para Ciclones Tropicales (GIAC CT) de complementar los niveles de alertas establecidos en presencia de un ciclón tropical con información procedente de fuentes oficiales. Todo esto con el objetivo de fortalecer el SIAT CT [5].

De la misma manera, se requirió el parecer de las autoridades estatales de protección civil de todas las entidades federativas del país para consensar y establecer clara y detalladamente los niveles de alerta definidos para la evolución de un ciclón tropical, cuando sea necesario que la alerta abarque una o varias regiones del estado. La opinión de las autoridades competentes también se utilizó para conocer las necesidades y puntos a fortalecer del boletín de alerta del SIAT CT.

A partir del año 2018, como consecuencia de lo anterior, los boletines de niveles de alerta por ciclón tropical del SIAT-CT emitidos por la DGPC fueron complementados con información adicional (posibles efectos del ciclón, recomendaciones tanto para las autoridades como para la ciudadanía, enlaces web y códigos QR para obtener más información de fuentes oficiales del gobierno) con el objetivo de apoyar a los tomadores de decisiones presentándoles un panorama completo en cuanto a la situación del ciclón tropical, los efectos, los riesgos, los niveles de alerta, y las recomendaciones a implementar para proteger a la población y los recursos económicos y naturales [12].

Los “Boletines de Alertamiento de Protección Civil” son el principal medio utilizado por la DGPC de la Secretaría de Gobernación para dar a conocer la etapa de alertamiento que corresponda. Los mismos contendrán la información que la DGPC considere oportuna, siendo importante señalar que la DGPC es la única instancia que determina la etapa de alerta. Además de acuerdo con el Manual de Organización y Operación del SINAPROC, en caso de un fenómeno ciclónico, *es atribución de la Secretaría de Gobernación a través de la DGPC, convocar al GIAC CT, con el propósito de determinar los niveles y zonas de alertamiento y transmitir recomendaciones a la población* [12].

El sistema de alertamiento del SIAT-CT actual consiste en dos tablas, una para el acercamiento del ciclón y otra para el alejamiento, en lugar de una sola; las mismas cuentan con cinco etapas cada una y están vinculadas a la intensidad del ciclón en la Escala de Saffir- Simpson y la Escala de Circulación y se le asocian actividades necesarias para la preservación de la vida y de los recursos materiales. La divulgación de los boletines informativos se realiza mediante de los medios de difusión masiva. Estos comienzan hasta 72 horas antes de la afectación y se repiten con frecuencias entre cada 24 horas y cada 3 horas tanto en la etapa de acercamiento como en la de alejamiento en dependencia de la cercanía del fenómeno [18].

2.5 Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis

Los tsunamis frecuentemente son antecedidos por sismos provocados por una dislocación vertical de la corteza terrestre en el fondo del océano. En el transcurso del siglo veinte, aproximadamente el 94% de los 450 tsunamis que han tenido lugar en el Océano Pacífico han tenido este origen. Otras fuentes de tsunamis menos frecuentes han sido: impacto de meteoritos, erupciones de volcanes sumergidos, explosiones nucleares y deslizamientos submarinos [19].

Para México el mayor riesgo de tsunamis son los generados por sismos adyacentes al litoral suroccidental, ejemplo de ello fueron los tsunamis ocurridos en noviembre de 1925 que afectó Zihuatanejo, Guerrero y en junio de 1932 que afectó a Cuyutlán, Colima. El primero con olas de 11 metros y el segundo con olas de 10 metros de altura [20].

Las acciones de prevención ante la inminente llegada de un tsunami, generacionalmente suelen quedar olvidadas dado que no son fenómenos tan frecuentes como los ciclones tropicales, no suelen repetirse en un mismo lugar y su recurrencia es a veces de varios decenios, comparable a la longevidad humana [19].

En el año 2012 surge el Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis (SINAT). Entre sus objetivos se encuentra unificar estructuras y coordinar relaciones funcionales, métodos y procedimientos entre dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, para apoyar el cumplimiento de los objetivos del SINAPROC [21]. El SINAT, en sinergia con los integrantes del SINAPROC, establece los mecanismos necesarios para monitorear, detectar y alertar sobre tsunamis que puedan arribar a las

costas mexicanas; adicionalmente encausa sus esfuerzos para consolidar la labor del Centro de Alerta de Tsunamis (CAT) a cargo de la Secretaría de Marina (SEMAR).

El CAT inicio operaciones en el año 2012 y se encuentra en comunicación y coordinación permanente con el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico (PTWC por sus siglas en inglés). El CAT tiene como finalidad procesar y estudiar la información en tiempo real procedente de los servicios de monitoreo sísmico y del nivel del mar (costero y oceánico), elaborar y difundir boletines de alertamiento de tsunamis, a través de la radio y la televisión, en base a la magnitud del sismo y en coordinación con instituciones nacionales y extranjeras de emisión de alertas de tsunamis. El CAT sirve además como enlace técnico para el desarrollo de investigaciones y el intercambio tecnológico con instituciones académicas y/o gubernamentales tanto dentro como fuera de México [21].

2.6 Sistema de Alerta Temprana de Incendios en México

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), ante situaciones de emergencias por la detección y propagación de incendios forestales ha desarrollado este sistema de alerta. El mismo está compuesto de un mapa interactivo que incluye información sobre los polígonos de calor, puntos de calor, anomalías de vegetación, modelo de humedad a 100 horas, áreas naturales protegidas, última imagen recibida y cobertura de suelo entre otros. Este sistema de alerta gracias al apoyo de instituciones nacionales e internacionales relacionadas a la reducción de riesgos puede acceder a imágenes satelitales para la recolección de datos. La información recolectada se envía por correo y se publica por la página web de la CONABIO. La información es utilizada por instancias de México y Centro América. Algunas de estas instancias son la Comisión de Aéreas Naturales Protegidas, la Comisión Nacional Forestal, Telmex, Gobiernos de los estados, CENAPRED, UNAM, etc. [22].

2.7 Sistema de Monitoreo del Volcán Popocatepetl.

El Sistema de Monitoreo del Volcán Popocatepetl tiene como principal objetivo detectar y evaluar el riesgo asociado a la actividad volcánica. El sistema comprende cuatro tipos de monitoreo: geoquímico, visual, sísmico y geodésico. El proceso de emisión de alertas inicia con la evaluación de la amenaza basada en el monitoreo y observación del volcán que realiza el Comité Técnico Científico Asesor el cual está integrado por investigadores de la UNAM y el CENAPRED. Subsiguientemente se le notifica el nivel de actividad del volcán a las autoridades gubernamentales y de Protección Civil a través de reportes especiales. Luego la información se difunde al público mediante un buzón telefónico [5].

2.8 Servicio Meteorológico Nacional (SMN)

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es el encargado de brindar información climatológica a escala local y nacional en México. Por ello su principal tarea es monitorear la atmosfera continuamente para detectar los fenómenos meteorológicos que representen una amenaza.

Otras de sus tareas es informar diariamente sobre el estado del tiempo, difundir avisos y boletines de las condiciones climáticas y realizar estudios meteorológicos o climatológicos. Los datos provienen de redes integradas por radares, observatorios meteorológicos, imágenes satelitales y estaciones de radiosondeo que hacen posible la detección, identificación y seguimiento de los fenómenos meteorológicos severos como frentes fríos, huracanes y tormentas [5].

Los principales medios de transmisión de información del SMN es mediante avisos especiales o boletines difundidos vía telefónica, correo electrónico o en Internet, al SINAPROC, el Gobierno de la Ciudad de México y los Estados, la Secretaría de Gobernación; la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaría de la Defensa Nacional; la Secretaría de Marina; las Gerencias de la Comisión Nacional del Agua; Petróleos Mexicanos; la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la Comisión Federal de Electricidad; la Secretaría de Salud, la Secretaría de Turismo; universidades e instituciones educativas de todos los niveles; empresas de todo tipo, hospitales, aseguradoras, medios masivos de comunicación, laboratorios químicos, y público en general [23].

2.9 Servicio de Clima Espacial México (SCIESMEX)

En octubre del 2014 comienza a operar un sistema de alerta relativamente joven, el Servicio de Clima Espacial México (SCIESMEX). Este sistema se originó a partir del programa de Cátedras del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con 4 plazas de catedráticos asignados al proyecto [24]. El SCIESMEX radica en el Instituto de Geofísica de la UNAM, en la unidad Michoacán y tiene entre sus objetivos [25]:

- ✓ Monitorear las condiciones del Sol, el medio interplanetario (radio eventos, viento solar y centelleo interplanetario), la ionosfera y el entorno geomagnético para prevenir eventos de Clima Espacial (CE).
- ✓ Emitir de manera eficiente, científica y técnica alertas informativas de CE a usuarios a través de las redes sociales (Twitter, Facebook y correo electrónico) y de reportes periódicos.
- ✓ Informar de manera científica, técnica, profesional y eficiente a la sociedad mexicana, al sector público, al sector privado y militar sobre posibles efectos de la actividad solar sobre el territorio mexicano. Es importante señalar que, en cuanto a los impactos en la tecnología, incluyen interferencias en radio comunicaciones de baja frecuencia, corrientes inducidas geomagnéticamente (GICs), errores en los sistemas de posicionamiento global (GPSs) y lluvia de partículas energéticas a pilotos y pasajeros de aeronaves [24].
- ✓ Operar la aplicación Web que almacena, distribuye y divulga datos en tiempo real de CE a la red de UNAM y del *International Space Environment Service* (ISES).

En atención a las modificaciones de la Ley General de Protección Civil se ha conformado una comisión espacial con CENAPRED y la Agencia Espacial Mexicana (AEM) para desarrollar los protocolos correspondientes a eventos de Clima Espacial. Así mismo nominado por la SRE, la AEM y el SMN, el SCIESMEX forma parte de los tres grupos internacionales que definen las políticas mundiales en Clima Espacial: la comisión técnica de expertos en Clima Espacial de la Oficina para Asuntos del uso Pacífico del Espacio Ultraterrestre de la ONU, la *Regional Warning Center* del ISES y del *Inter-programme Coordination Team on Space Weather* (ICTSW) de la *World Meteorological Organization* (WMO). En la [Figura 3](#) se puede observar el esquema de flujo de información al cual está asociado el SCIESMEX.

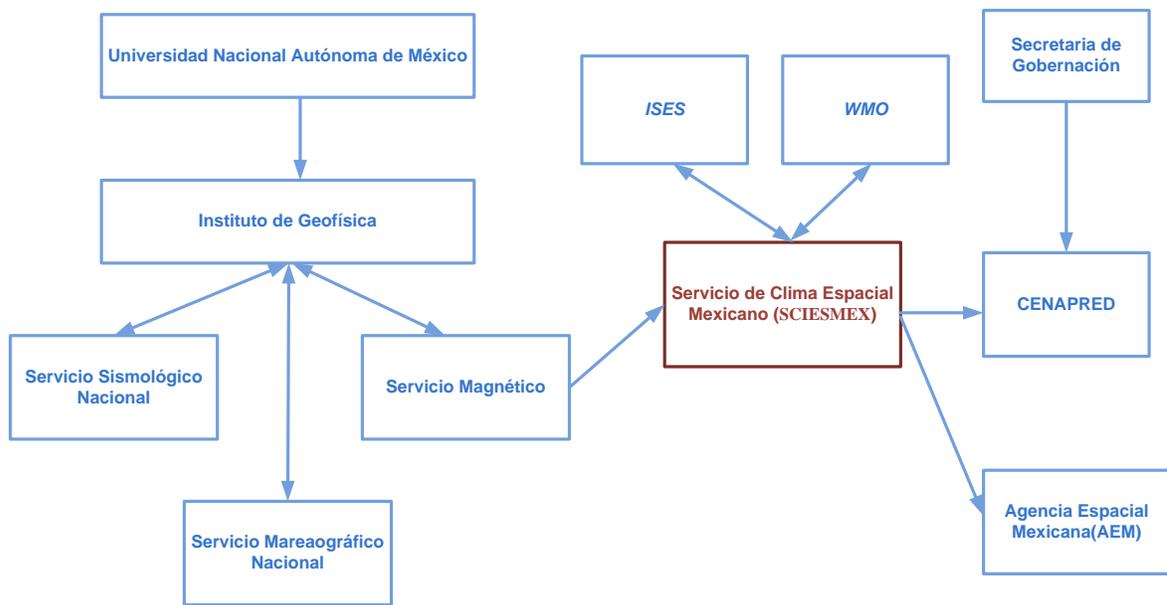


Figura 3. Organigrama SCIESMEX [25]

Entre las principales tareas asignada SCIESMEX por parte del CENAPRED se encuentra contribuir en la creación del “Sistema de Alerta Temprana de Clima Espacial” para México. Los desastres naturales por CE son fenómenos globales, aunque el nivel de afectación que provoca varía según la región. El objetivo de un sistema de alerta de emergencia de CE es determinar el nivel de amenaza para el territorio nacional en base a los fenómenos detectados internacionalmente y de los resultados de las mediciones aportadas por la red de instrumentos de CE. Es importante señalar que, dado que aún no existe una base de datos de mediciones de CE, se desconoce el efecto que tiene este fenómeno en México [25].

2.10 Problemáticas de los SAE en México

Los sistemas de alertas de emergencias mexicanos tal y como existen hasta la fecha, constituyen el resultado del esfuerzo realizado en el país por agencias gubernamentales y no gubernamentales para proteger tanto la vida como los recursos materiales de los que se dispone. Sin embargo, en base a las características de estos y comparándolos con otros sistemas existentes en el ámbito internacional (en el Capítulo 3: Sistemas de Alertas de Emergencias en el mundo se ejemplificarán algunos de estos sistemas), se evidencia algunas de sus problemáticas.

Para comprenderlo mejor se puede observar la [Tabla 1](#), la cual resume algunas de las particularidades de estos sistemas.

Tabla 1. Características de los SAE en México

Sistema	Evento	Cobertura	Momento de la Alerta	Medios de Comunicaciones
Servicio Sismológico Nacional (SSN)	Sísmico	Nacional	Advertencia ante la ocurrencia	Alarma sonora
Sistema de Alerta Sísmico Mexicano (SASMEX)	Sísmico	Ciudad de México, Oaxaca, Chipancingo, Acapulco, Morelia y Puebla	Segundos previos al arribo se un sismo que ya ocurrió, depende de la distancia del epicentro y la energía del sismo	Receptores dedicados que generan una alarma sonora
Sistema de Monitoreo del Volcán Popocatepetl	Volcánico	Zonas aledañas al volcán	Ante de la ocurrencia de eventos	Buzón telefónico
Sistema de Alerta Temprana Contra Ciclones (SIAT-CT)	Ciclón tropical	Nacional	Con 72 horas de anticipación	Medios de difusión masiva
Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis	Tsunami	Costa del Pacífico Mexicano	Para los tsunamis locales, minutos de anticipación; para los regionales y lejanos o transoceánicos, horas	Boletines de alerta a través de radio y televisión
Sistema de Alerta Temprana contra Incendios	Incendios forestales	Nacional	Aviso ante la ocurrencia	Correo electrónico y páginas web
Servicio Meteorológico Nacional (SMN)	Meteorológicos	Nacional	Aviso ante la ocurrencia y pronósticos	Boletines a través de correo electrónico, vías telefónicas o páginas web
Servicio de Clima Espacial (SCIESMEX)	Espacial	Nacional	Aviso ante la ocurrencia y reportes periodicos	Correo electrónico y páginas web

Por toda la información anteriormente expuesta se puede aseverar que:

- ✓ Cada sistema de alerta trabaja de forma separada, no hay un sistema común de alerta de alcance nacional.

- ✓ La cobertura es a través de medios de comunicación en la mayoría de los casos, pero hay zonas de sombra en donde no hay cobertura de radio ni de televisión (en el capítulo 5 se hace un estudio sobre dichas coberturas en México).
- ✓ Algunos sistemas tienen alcances locales, a pesar de ser riesgos de mayor alcance (sismos).
- ✓ Los niveles de alertas son muy variables dependiendo del generador y el peligro, lo cual dificulta su entendimiento por la población en general.
- ✓ Es muy variable el medio de comunicación entre los generadores de alertas y los medios de difusión de las mismas.
- ✓ La difusión automática de los sismos se realiza mediante una red de comunicaciones dedicada y que requiere la compra de receptores específicos. No hay alerta automática por medio de la radio, la televisión ni los celulares.

El sistema de alerta de emergencia integral, que se propondrá en esta investigación, incluirá en su propuesta soluciones a estas problemáticas.

3 Sistemas de Alerta de Emergencia en el mundo

El rápido desarrollo tecnológico y científico en los campos de la instrumentación, las telecomunicaciones, el *hardware* informático y el *software* especializado ha permitido la investigación, el diseño y la implementación de sistemas de alertas de emergencias en varios países del mundo [26].

Este capítulo tratará el tema de los sistemas de alerta de emergencias internacionales, para lo cual se incluirán los siguientes temas:

- ✓ Se describirá la normatividad de la UIT.
- ✓ Se describirá la utilización a nivel mundial de los principales medios de transmisión para SAEs: redes de radiodifusión, redes móviles y comunicaciones satelitales.
- ✓ Se describirá algunos de estos sistemas de alertas seleccionados por su interés.

3.1 Marco regulatorio de las telecomunicaciones de emergencia de la UIT

El control y reglamentación de las telecomunicaciones es considerado por cada Estado, como un factor de soberanía; sin embargo por sus propias características, las telecomunicaciones exceden las fronteras nacionales de cada país. Por esta razón, es de gran importancia la existencia de reglamentaciones internacionales y nacionales que regulen el uso de las telecomunicaciones. Para el caso de las telecomunicaciones de emergencia, fue necesario definir un marco internacional y la creación de instrumentos jurídicos internacionales que sirvieran de orientación; correspondiendo a cada país salvaguardar sus intereses nacionales y ajustarse a las disposiciones del derecho internacional aplicable en cada caso [1].

Gracias a los esfuerzos del Gobierno de Finlandia, 76 países y varias organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales participaron, entre el 16 al 18 de junio de 1998 en la Conferencia Intergubernamental sobre Telecomunicaciones en casos de Emergencia (ICET-98), la cual fue celebrada en Tampere, Finlandia [1]. En esta conferencia se firmó el Convenio de Tampere, lo que constituyó la cristalización de los esfuerzos internacionales en el campo de las telecomunicaciones de emergencia. Este convenio fue firmado el 18 de junio de 1998, por treinta y tres de los estados participantes y versa fundamentalmente sobre el suministro de recursos de telecomunicaciones y las operaciones de socorro en caso de catástrofe. Este documento fue el primer tratado internacional que reconoció la importancia vital de las tecnologías de la comunicación en las crisis humanitarias [1][27]. El Convenio aboga por una mejora en la preparación en casos de catástrofe mediante la creación de un mecanismo de intercambio de información y prácticas, además establece un marco claro de cooperación internacional dirigido por la UIT por mediación de coordinadores nacionales [28].

El Convenio de Tampere entró en vigor el 8 de enero de 2005, tras ser ratificado por 30 Estados apenas dos semanas después de producirse el devastador tsunami en el Océano Índico, en diciembre

de 2004. Hasta la fecha ha sido ratificado por un total de 36 países. El Secretario General de las Naciones Unidas es el depositario del Convenio [28].

En varias conferencias internacionales y en reuniones especializadas como las que celebran las Comisiones de Estudio de la UIT se han elaborado varios documentos. Algunos de estos documentos están mencionados en [1]:

- ✓ Recomendación 12 de la Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones (CMDT-02) (Estambul, 2002), “Consideración de las necesidades de telecomunicaciones en casos de desastre en las actividades de desarrollo de las telecomunicaciones”, en ella se exhorta a todos los Estados Miembros a tener en cuenta los requisitos específicos de las telecomunicaciones de emergencia en todo el proceso de desarrollo de las telecomunicaciones [29].
- ✓ Resolución 34 de la Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones (CMDT-02) (Estambul, 2002), “Los recursos de las telecomunicaciones al servicio de la asistencia sanitaria”, en la cual se aboga para que las administraciones hagan todo lo posible para que entre en vigor el Convenio de Tampere a través de la corroboración oportuna del mismo por las autoridades nacionales competentes [29].
- ✓ Resolución 36 de la Conferencia de Plenipotenciarios de la UIT (Marrakech, 2002), “Las telecomunicaciones al servicio de la asistencia humanitaria”, en la cual se insta a los Estados Miembros a tomar todas las medidas necesarias para la aplicación del Convenio de Tampere e invita a la ONU y UIT a apoyar dichos esfuerzos [30].
- ✓ Revisión del Artículo 25 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) por la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR-03) (Ginebra, 2003), en el cual se aboga por apoyar y facilitar el servicio de radioaficionados en situaciones de emergencia, y alienta a las administraciones a que se adopten las medidas oportunas para que este servicio pueda establecer las comunicaciones que se estimen necesarias [31].

Todos estos documentos demostraron la necesidad existente de regularizar las telecomunicaciones en caso de emergencias e instaban a que cada vez más países firmaran el Convenio de Tampere. Desde que se firmó el Convenio de Tampere, se dispuso de muchos más instrumentos para reducir los efectos de las catástrofes naturales. Además la UIT alentó a sacar provecho de la creación de sistemas de alerta temprana, adoptando sistemas de información compartida, como el Protocolo de Alerta Común, e implantando tecnologías mejor adaptadas para responder a las catástrofes, como tecnologías geoespaciales e imágenes y comunicaciones por satélite [28]. En los siguientes epígrafes se realiza un estudio del Protocolo de Alerta Común.

3.2 Protocolo CAP (v 1.2)

El Protocolo de Alerta Común (CAP por sus siglas en inglés) fue creado por la Organización para el Avance de los Estándares de la Información Estructurada (OASIS por sus siglas en inglés) [10]. Este protocolo es un estándar abierto y su formato está basado en XML (*eXtensible Markup Language*). El CAP permite transmitir todo tipo de alertas de emergencias entre los diferentes tipos de redes de comunicaciones y los equipos terminales, lo que aumenta la efectividad de la alerta y simplifica la tarea de advertencia [32]. El CAP facilita la detección de patrones emergentes en alertas locales de diversos tipos, como lo que podría indicar un peligro no detectado o un acto hostil. El CAP, además, proporciona una plantilla para mensajes de alertas efectivos basados en las mejores prácticas identificadas en la investigación académica y la experiencia real obtenida [32].

En este protocolo no se contempla ninguna aplicación ni método de telecomunicaciones en particular. El formato CAP es compatible con técnicas tales como los servicios web, televisión, redes móviles, fax, letreros de carretera y los servicios web rápidos del UIT-T, así como con los formatos existentes, con inclusión del formato de codificación de mensajes de zona específica (*Specific Area Message Encoding, SAME*), que se utiliza en el sistema de alerta de emergencia (*Emergency Alert System, EAS*) y las radiocomunicaciones meteorológicas de la Administración Nacional de los Océanos y la Atmósfera (NOAA) de los Estados Unidos, además de ofrecer capacidades mejoradas, entre las que cabe citar las siguientes [10]:

- ✓ apuntar a un objetivo geográfico de manera flexible, utilizando configuraciones de latitud/longitud y otras representaciones geoespaciales en tres dimensiones
- ✓ mensajería plurilingüística para múltiples audiencias
- ✓ prestaciones mejoradas para la actualización y anulación de mensajes
- ✓ plantilla para estructurar mensajes de alerta completos y eficaces
- ✓ compatibilidad con capacidades digitales de firma y cifrado
- ✓ facilidad para vídeo y audio digitales

El CAP permite reducir los costos y la complejidad operacional, al suprimir la necesidad de múltiples interfaces de programas informáticos personalizados con los numerosos sistemas de difusión y fuentes de alerta que intervienen en una alerta para todo riesgo. El formato de mensaje CAP puede convertirse hacia y desde los formatos “nativos” de todos los tipos de sensores y tecnologías de alerta, sentando así las bases para un sistema “Internet de alerta” nacional e internacional independiente de la tecnología [1].

3.2.1 Estructura del mensaje de alerta CAP

Los mensajes de alerta CAP están compuestos por cuatro segmentos: “*alert*”, “*info*”, “*resource*” y “*área*”. La descripción de cada uno de estos segmentos se muestra en la [Tabla 2](#).

Tabla 2. Segmentos del mensaje de alerta CAP [32]

Segmento	Descripción
<i>alert</i>	El segmento “ <i>alert</i> ” proporciona información básica sobre el mensaje actual: su propósito, su origen y su estado, así como un identificador único para el mensaje actual y enlaces a cualquier otro mensaje relacionado. Un segmento “ <i>alert</i> ” puede usarse solo para acuses de recibo de mensajes, cancelaciones u otras funciones del sistema, pero la mayoría de los segmentos “ <i>alert</i> ” incluirán al menos un segmento “ <i>info</i> ”
<i>info</i>	El segmento “ <i>info</i> ” describe un evento anticipado o real en términos de su urgencia (tiempo disponible para prepararse), severidad (intensidad del impacto) y certeza (confianza en la observación o predicción), así como también proporciona descripciones categóricas y textuales del evento en cuestión. También puede proporcionar instrucciones para la respuesta adecuada de los destinatarios del mensaje y otros detalles (duración del peligro, parámetros técnicos, información de contacto, enlaces a fuentes de información adicionales, etc.) Se pueden usar múltiples segmentos <info> para describir diferentes parámetros (por ejemplo, para diferentes “bandas” de probabilidad o intensidad) o para proporcionar la información en varios idiomas

<p><i>resource</i></p>	<p>El segmento “<i>resource</i>” proporciona una referencia opcional a información adicional relacionada con el segmento “<i>info</i>” dentro del cual aparece en forma de un activo digital, como una imagen o un archivo de audio.</p>
<p><i>area</i></p>	<p>El segmento “<i>area</i>” describe un área geográfica a la que se aplica el segmento “<i>info</i>” en el que aparece. Se admiten descripciones textuales y codificadas (como códigos postales), pero las representaciones preferidas usan formas geoespaciales (polígonos y círculos) y un rango de altitud o altitud, expresado en términos estándar de latitud / longitud / altitud de acuerdo con un dato geoespacial especificado.</p>

3.2.2 Aplicaciones del Protocolo CAP

En la bibliografía [1] y [32] se mencionan varias aplicaciones para el protocolo CAP, siendo las principales: la utilización del mensaje de alerta CAP, el cual ofrece una aportación única para activar todo tipo de sistema de alerta y aviso público. Una aplicación secundaria del CAP es normalizar las alertas de diversas fuentes, de modo que éstas puedan combinarse y compararse en forma tabular o gráfica, como una ayuda para determinar la situación y detectar las pautas.

Sin embargo, en este trabajo la aplicación que más interesa de este protocolo es que un sistema integrado de alertas públicas que permite que todos los sistemas de advertencia en una comunidad puedan activarse simultáneamente mediante la emisión, por parte de una autoridad autorizada, de un solo mensaje CAP.

Cada sistema convierte los datos del mensaje CAP en la forma adecuada para su tecnología (subtítulos de texto en TV, voz sintetizada en radio y teléfono, activación de la señal apropiada en sirenas, etc.). Los sistemas pueden orientar sus mensajes a áreas geográficas particulares implementando la focalización especificada en el mensaje CAP, con tanto alcance como lo permita su tecnología [32].

De esta manera, no solo se maximiza la confiabilidad y el alcance del sistema general de alerta, sino que los ciudadanos también corroboran la alerta a través de múltiples canales, lo que aumenta la posibilidad de que se actúe la alerta.

3.3 Sistemas de alertas de emergencias en redes móviles

Como ya se ha explicado anteriormente, la alerta de emergencia pública o alerta pública permite al personal a cargo de la gestión de emergencias ponerse en contacto rápidamente con todos los ciudadanos y equipos de respuesta, para reaccionar ante una catástrofe, dentro de una zona de riesgo definida. La emergencia puede ser ocasionada por fenómenos naturales, accidentes químicos, interrupciones de fluido eléctrico entre otros, que puedan poner en peligro la vida humana [33].

En estos momentos la tecnología 4G esta diseminada, casi de forma masiva. y aunque los operadores móviles han comenzado una carrera imparable por disponer de la red más extensa, al mismo tiempo también están modernizando sus redes para ofrecer más novedades tecnológicas, como *voLTE* o *LTE Broadcast*, *Cell Broadcast Service*, etc; y por supuesto 5G.

Entre ellas, en este trabajo es de especial importancia la tecnología *Cell Broadcast Service* o CBS. Es una tecnología que permite a los operadores móviles enviar un mensaje a múltiples usuarios dentro

de un área específica; esto permite que dichos mensajes puedan ser entregados a los usuarios que se encuentren en una determinada área de cobertura. Esta tecnología está explicada más adelante.

3.3.1 Sistema de alerta por SMS basado en la ubicación

El Servicio de Mensajes Cortos (SMS, por sus siglas en inglés) es conocido por la mayoría de los usuarios en todo el mundo y es compatible con casi el 100% de todos los teléfonos móviles en todo el mundo [11]. Los SMS tradicionales no eran prácticos para el envío de alertas de emergencias. En el envío de grandes volúmenes de mensajes que requería un SAE, se necesitaba el establecimiento y almacenamiento de una base de datos de usuarios y la transmisión individual de mensajes a cada uno de los números de dicha base. Ante una emergencia, donde las redes se congestionaban frecuentemente, el monto de mensajes a enviar podía aumentar el congestionamiento y los retrasos en la entrega de mensajes. Los mensajes que eran enviados no eran selectivos en cuanto a que la ubicación geográfica del usuario coincidiera con la zona afectada por la alerta, lo que posibilitaba la ocurrencia de confusiones [10].

Una solución mucho más adecuada para el envío de mensajes de alertas utilizando SMSs son los SMS basados en la ubicación (LB-SMS por sus siglas en inglés) los cuales combinan los SMS tradicionales con la ubicación geográfica de celulares que permiten las celdas de la red móvil [11].

En su funcionamiento LB-SMS identifica la lista real de suscriptores móviles en el área y envía un SMS individual a cada destinatario. Esto permite mostrar un recuento de destinatarios en un área (conocimiento de la situación), informes de entrega individuales (estado en tiempo real de la entrega exitosa) y contenido específico del idioma (según el código de país de los destinatarios). Los problemas de congestión se resuelven a través de los SMS priorizados (SMS con mayor prioridad en términos de ancho de banda de red). El mensaje SMS se puede transmitir en una sola celda de radio, sub-celda, en un grupo de celdas o en toda la red, lo que hace que la ubicación del servicio sea específica.

Algunas de las características de los LB-SMS que lo hacen viable como un servicio de SAE son las siguientes [11]:

- ✓ Funciona en cualquier teléfono que pueda recibir SMS tradicionales, no se requieren configuraciones del teléfono ni modificaciones significativas en la infraestructura. Dado que LB-SMS se integra con los sistemas existentes que ya utilizan los operadores móviles, el costo de inversión es relativamente bajo.
- ✓ Los usuarios no pueden optar por no recibir LB-SMS de forma predeterminada. Su única forma de hacerlo es apagando su dispositivo, configurándolo en silencio o ignorando la alerta. Sin embargo, es posible configurar diferentes canales, dando la posibilidad de optar por no participar (por ejemplo, enviando un SMS gratis a un número corto o en un sitio web).
- ✓ Tiene la ventaja de una fácil comunicación bidireccional. Esto proporciona un mecanismo simple y bien conocido para que diferentes grupos demográficos, como personas con necesidades especiales, ancianos, niños, etc., soliciten asistencia durante las evacuaciones.
- ✓ Al ser un medio de comunicación universalmente conocido, LB-SMS tiene menos posibilidades de causar pánico / histeria por amenazas localizadas o al enviar alertas de emergencias.

Con el cambio a 4G y 5G, la capacidad de las redes está aumentando considerablemente, por lo que la congestión de la red que afectan la recepción en tiempo de los SMS en situaciones de emergencia no será crítica, por lo que los SMS pueden ser una forma sólida, fiable y eficiente de

llegar a los ciudadanos en estas situaciones. En la actualidad los países que han implementado LB-SMS pueden enviar hasta 10,000 SMS por segundo.

3.3.2 Notificaciones de alertas basadas en aplicaciones

Las notificaciones de alertas a través de aplicaciones también pueden formar parte de un SAE. Estas aplicaciones no necesitan la cooperación de los operadores de redes móviles, pero presentan algunos inconvenientes como son [11]:

- ✓ Es necesario que los usuarios instalen la aplicación en sus teléfonos celulares, lo que conlleva gastos de marketing para que los mismos conozcan la existencia de dicha aplicación y tenga consciencia de los beneficios del sistema.
- ✓ Baja posibilidad de los turistas extranjeros conozca la existencia de dicha aplicación y resultaría engorrosos instalar una aplicación para cada país en el que se haga estancia.
- ✓ Posibles problemas de ciberseguridad (ataques de denegación de servicio) pueden afectar la capacidad de respuesta del sistema en algunas circunstancias.

3.3.3 Sistema de Transmisión Móvil (CBS)

En el artículo [10] se realiza una descripción detallada del surgimiento y características del *Cell Broadcasting Service* (CBS), o Servicio de Transmisión Móvil en español. Dicho documento informa que, en el 2006, luego del tsunami del Océano Índico en 2004 y el Huracán Katrina en 2005, los sistemas de alerta de emergencia generaron gran interés, por lo que el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI por sus siglas en inglés) redactó un reporte sobre tecnologías móviles el cual constituyó la base para el Sistema de Transmisión Móvil. Entre los requerimientos más importantes estuvieron los siguientes [10]:

- ✓ Capacidad y velocidad: Puede transmitir un mensaje de alerta al 97% de la ciudadanía en la zona objetivo entre tres y cinco minutos.
- ✓ Congestión de redes: Independiente de la congestión de las redes el sistema debe ser capaz de transmitir grandes volúmenes de mensajes.
- ✓ Seguridad y validación: Los mensajes de alertas de emergencias deben ser enviados por una autoridad de emergencia gubernamental y se debe respetar la privacidad del usuario.
- ✓ Desempeño: Siempre que sea posible el sistema debe estar configurado para tener una alta disponibilidad y redundancia geográfica.
- ✓ Requisitos de los dispositivos o teléfonos: El sistema debe permitir diferentes niveles de alertas y los mensajes deben ser reconocidos por el teléfono como una alerta y permanecer hasta que el usuario los cancele de manera manual.

El reporte analizó varias tecnologías móviles como CBS, SMS, MMS, Email, etc. y llegó a la conclusión que CBS y SMS eran las más idóneas para un SAE.

Aunque SMS es mucho más conocido que CBS por parte de los usuarios de redes móviles, este último presenta características que los hacen muy factible para un SAE. Estas incluyen:

- ✓ Visualización de mensajes: CBS puede enviar mensajes en varios idiomas y estos aparecerán en la pantalla del móvil sin la interacción directa del usuario, acompañados de un tono de alarma distintivo.
- ✓ Entrega de Mensajes: El CBS trabaja como un servicio *broadcast*, y como tal la transmisión es de uno a muchos. El mensaje será enviado a todos los móviles dentro de un área objetivo (pueden ser millones de móviles), el área puede abarcar una red entera o solamente una celda.

- ✓ Seguridad de los mensajes: CBS tiene en cuenta algunas cuestiones relacionadas con la seguridad. Es muy difícil identificar la identidad del remitente por lo que los mensajes CBS solo pueden ser transmitidos por personal autorizado. Por otro lado, los usuarios se encuentran protegidos dado que CBS no necesita registros de números, ni bases de datos de usuarios, los mensajes son enviados a todos los dispositivos dentro de un área específica.

En cuanto a las desventajas que presenta CBS en comparación con SMS para su uso en un SAE podemos referirnos a dos. La primera es que normalmente solo permite comunicación unidireccional, lo que no admitiría una retroalimentación de la información por parte del usuario y la segunda es que no puede estandarizarse como un método de visualización en móviles, lo que dependería directamente de los fabricantes de los diferentes modelos de móviles y en algunos casos podría requerirse que el usuario lo configurara manualmente. A pesar de las desventajas, el CBS es la tecnología más implementada en un SAE [10].

3.3.4 Tecnología e Implementación de CBS

Las normas 3GPP, 2G, 3G y 4G incluyen el CBS, sin embargo, desde que fue definido por GSM, la estructura básica del mensaje CBS no ha tenido cambios significativos.[10].

Un mensaje de CBS está compuesto de 88 Octetos (1 Octeto = 8 Bits de datos) de información; 6 octetos (los primeros) se utilizan para identificar y definir las características del mensaje, los 82 octetos restantes se utilizan para llevar el mensaje. Esta composición permite un total de 93 caracteres para utilizarlos en una sola página del mensaje. Un mensaje puede tener una extensión de hasta 15 páginas concatenadas [10].

La estructura básica de un mensaje de una página se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3. Estructura básica de un mensaje CBS [10]

Número de octetos	Campos
1-2	Número de serie: El número de serie identifica el mensaje del CBS. Contiene información sobre el alcance geográfico del mensaje, es decir, en qué lugares es válido
3-4	Identificador del Mensaje: El identificador del mensaje identifica la fuente y tipo del mensaje del CBS. Para los Sistemas de Alarma Pública (SAP), las redes sólo tienen autorización para identificar usuarios entre 4352--6299. Estos son utilizados para identificar diferentes tipos de alertas: por ejemplo 4370 es el identificador del Sistema de Alerta Comercial Móvil (CMAS, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos para una alerta presidencial.
5	Esquema de Codificación de Datos: Si el mensaje no es configurado para su visualización inmediata, este parámetro le indica al móvil la forma en que debe presentarse el mensaje y qué alfabeto/idioma usar cuando se interpreta el mensaje

6	Parámetro de páginas: Este contiene información sobre el número total de páginas en el mensaje CBS (máximo 15) y también donde se encuentra esta página en particular del mensaje dentro de la secuencia total de páginas
7-8	Contenido del mensaje: Los últimos 82 octetos incluyen el contenido del mensaje que pueden ser texto o código binario.

La visualización de un mensaje del CBS en el terminal móvil de un usuario puede estar regulada tanto por *geoscope* (parte del número de serie) como por el Esquema de Codificación de Datos. Si el *geoscope* se configura a 0 el mensaje tiene prioridad y se visualiza en el terminal móvil del usuario de manera automática y sin la intervención de este. Cuando el *geoscope* no se configura a 0, entonces el Esquema de Codificación de Datos determina como se mostrará el mensaje y el nivel de intervención del usuario. El mensaje de emergencia puede ser presentado en múltiples idiomas usando para cada idioma un identificador de mensajes específicos o los valores específicos para cada idioma del Esquema de Codificación de Datos [10].

3.3.5 Configuración y transmisión de un mensaje del CBS

La estructura básica del CBS está compuesta de un Centro de Transmisión Móvil (CBC, *Cell Broadcast Center*), que está ubicado generalmente en la red del operador móvil y por al menos una Entidad de Transmisión Móvil (CBE, *Cell Broadcast Entity*), la cual usualmente, en los sistemas de alarma temprana se encuentra ubicada en una autoridad gubernamental o confiable (Figura 4).

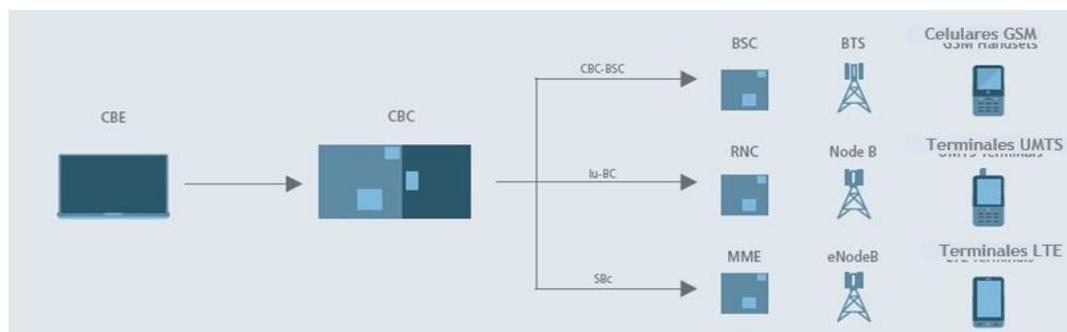


Figura 4. Arquitectura básica de un CBS [10]

La CBE es la interfaz de mensajería al CBC [10]. El CBE es una interfaz de usuario que el autor del mensaje utiliza para elaborar dichos mensajes y posteriormente para establecer la posición de los usuarios receptores del mensaje. Una vez definidos los destinatarios, el mensaje se envía al CBC, que mapea el área objetivo hasta las celdas de la red móvil y después envía el mensaje de transmisión móvil a la red de acceso de radio requerida (GSM, 3G, LTE) que tramitará el envío del mensaje al usuario final [10]. En 3GPP, el CBC está integrado como un nodo en la red central. El CBC puede estar conectado a varios BSC / RNCs / MME. El CBC puede estar conectado a varios CBE. El CBC será responsable de la gestión de los mensajes de CBS y de manera más específica sus funciones incluyen [34]:

- ✓ asignación de números de serie
- ✓ modificar o eliminar mensajes CBS en poder del BSC / RNC / eNodeB

- ✓ iniciar la transmisión enviando mensajes CBS de longitud fija a un BSC / RNC / eNodeB para cada idioma proporcionado por la celda, y cuando sea necesario rellendo las páginas a una longitud de 82 octetos
- ✓ determinar el conjunto de celdas a las que se debe transmitir un mensaje CBS e indicar dentro del número de serie el alcance geográfico de cada mensaje CBS;
- ✓ determinar la hora a la que debe comenzar a transmitirse un mensaje CBS
- ✓ determinar el momento en que un mensaje CBS debe dejar de emitirse y, posteriormente, instruir a cada BSC / RNC / eNodeB para que deje de transmitir el mensaje CBS
- ✓ determinar el período en el que debe repetirse la difusión del mensaje CBS
- ✓ determinar el canal de difusión celular en GSM, en el que debe transmitirse el mensaje CBS.

Es una práctica común en las implementaciones de CBS para sistemas de alerta temprana que la CBE sea reemplazada por dos etapas. Las responsabilidades de ambas etapas son definidas por la entidad gubernamental o confiable que esté a cargo de manejar la emergencia [10] (Figura 5).

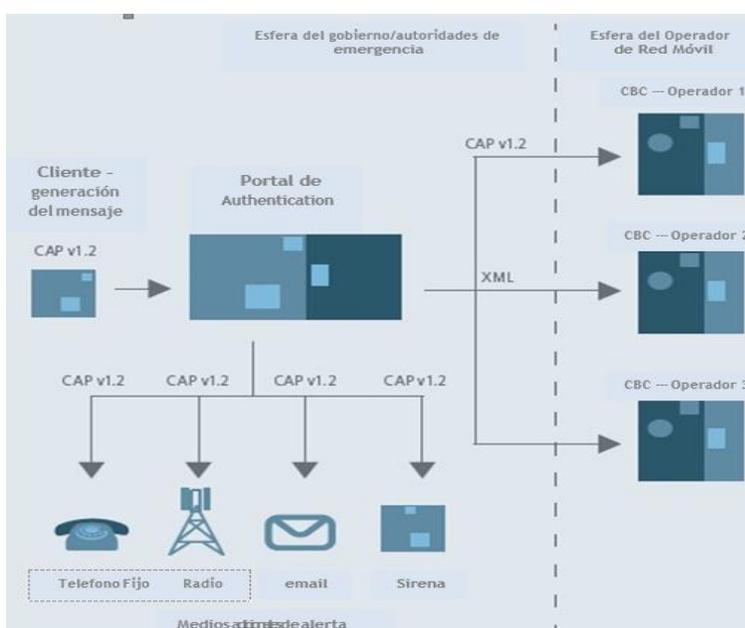


Figura 5. Arquitectura básica de un SAE [10]

3.3.6 Principales retos para la eficaz implementación de CBS

A pesar de las ventajas de CBS sobre otras tecnologías para la implementación de sistemas de alertas de emergencia, se ha documentado en la bibliografía consultada, algunos de los principales impedimentos que han dificultado una aplicación masiva del mismo.

El artículo [10] sugiere las siguientes razones:

- ✓ Dificultad en el estudio del negocio para operadores: Aunque las inversiones en sistemas de alertas de emergencias se han incrementado, debido al aumento de los impactos negativos a nivel mundial de varias catástrofes, aún algunos operadores de redes móviles todavía no las consideran como inversiones que valgan la pena.
- ✓ Compatibilidad e interfaz de los teléfonos: Una gran barrera para la implementación de CBS como SAE, es que no está estandarizado en la mayoría los teléfonos móviles. En la actualidad sigue siendo necesario que el usuario active el servicio de manera manual y la forma de hacerlo varía con la marca y modelo del terminal móvil.
- ✓ Legislación Nacional: para que la implementación de un SAE sea exitosa, un factor muy importante es que cuente con respaldo gubernamental y de los órganos regulatorios del país sede. Además, la concentración y validación de alertas debe estar a cargo de una institución nacional u órgano gubernamental para brindar a las fuentes e mensajes credibilidad y legitimidad [10]. En los EUA, la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) contribuyó a la aprobación de una legislación nacional y estructura que propició que el CMAS tuviera una gran aceptación entre los operadores de telefonía móvil a pesar de que la participación en el mismo era voluntaria.

3.4 Sistemas de alertas de emergencias en radiodifusión

En la gestión de catástrofes los organismos de radiodifusión tienen dos funciones: recopilar información de las redes de radiocomunicación conectadas a organizaciones administrativa que se establezcan a partir de la catástrofe y difundir la información al público en general. En algunos países cuentan con sistemas de multidifusión para receptores con altavoces en exteriores vinculados a su propia red de radiocomunicaciones en caso de catástrofe, como el SASMEX. Estos sistemas en condiciones climatológicas adversas como son las lluvias torrenciales o tormentas, pueden ser difíciles de escuchar en interiores. La transmisión de alertas de emergencias a través de la radiodifusión es un medio particularmente útil tanto para interiores como para exteriores a través de radioreceptores móviles [35].

En el caso de radiodifusiones de emergencias, organismos como la UIT recomiendan que *los organismos responsables elaboren procedimientos y rutinas para enviar a los centros de transmisión o de distribución de la red información sobre alerta a la población, mitigación en caso de catástrofe y operaciones de socorro de conformidad con los protocolos técnicos acordados; y que en el caso de alerta a la población, mitigación en caso de catástrofe y operaciones de socorro, los transmisores de radiodifusión difundan información dando avisos a nivel local, nacional y/o, potencialmente, incluso a través de las fronteras nacionales, según el caso* [36].

En México, el Plan de Reacción de Comunicaciones en Situaciones de Emergencia [37] tiene por objeto orientar las labores del IFT ante el Comité Nacional de Emergencias, para organizar las labores entre los Concesionarios de los servicios de telecomunicaciones y radiodifusión con las autoridades de Protección Civil a raíz de la ocurrencia de una catástrofe que ponga en peligro la vida humana, así como prestar atención a la correcta prestación de los servicios públicos que brindan los Concesionarios. El mismo plantea que en este tipo de situaciones los Concesionarios de uso comercial, público y social de radio y televisión deben de manera gratuita, preferencial y obligatoria transmitir los boletines o mensajes provenientes de cualquier autoridad que esté relacionada con la seguridad o defensa del territorio nacional, la preservación del orden público, o con medidas encaminadas a resolver cualquier emergencia pública [37].

3.4.1 Características de sistemas de alerta de emergencia por radiodifusión analógica

Radiodifusión sonora analógica

En [35] se muestra una visión general de la composición de un sistema de alerta de emergencia para un sistema de radiodifusión sonora (Figura 6). Ante una situación de emergencia, la señal del programa es reemplazada por una señal de control, con el objetivo de activar los receptores SAE de forma automática, incluso si estos se encuentran en *standby*. El nivel sonoro de la señal de control es superior al nivel de la señal del programa. Esta señal de control también puede ser utilizada como sonido de alarma. El sistema debe ser configurado de una manera sencilla para garantizar una activación rápida y eficaz.

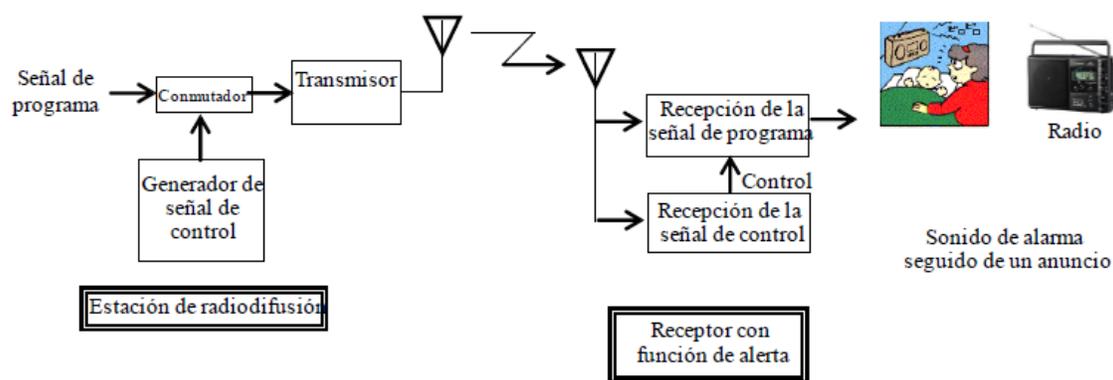


Figura 6. Composición del sistema de alerta de emergencia por radiodifusión sonora analógica [35]

Cuando es detectada la señal de control por parte del receptor SAE, este activa una alarma sonora para captar la atención de los radioyentes sobre la difusión de una emergencia. La señal de control puede transmitirse a receptores en ondas medias (MW *por sus siglas en inglés*) y frecuencia modulada (FM). La señal de control está compuesta por un código de zona y un código de tiempo los cuales protegen al receptor SAE de señales de control falsas y malintencionadas [35].

Para la radiodifusión sonora, los sistemas de alertas de emergencia están configurados con una señal de arranque categoría I y una señal de arranque categoría II. Para ambos casos los organismos de radiodifusión transmitirán la señal de arranque o inicio de una transmisión de alerta en dependencia de la naturaleza de la situación de emergencia y el alcance territorial de la posible afectación. Cuando culmina la transmisión de emergencia los organismos de radiodifusión difundirán una señal de finalización que propiciará que el receptor SAE vuelva a su estado anterior [35].

El método de modulación de la señal SAE es la de modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF) con una frecuencia de reposo de 640 Hz y una frecuencia de trabajo de 1024 Hz. La desviación de frecuencia admisible es ± 10 ppm en cada caso. La velocidad de transmisión de la señal EWS es de 64 bit/s y la desviación de 10 ppm. La distorsión de la señal se mantiene por debajo del

5% [35]. La configuración de las señales de arranque y finalización se pueden observar en la [Figura 7](#) y [Figura 8](#) respectivamente

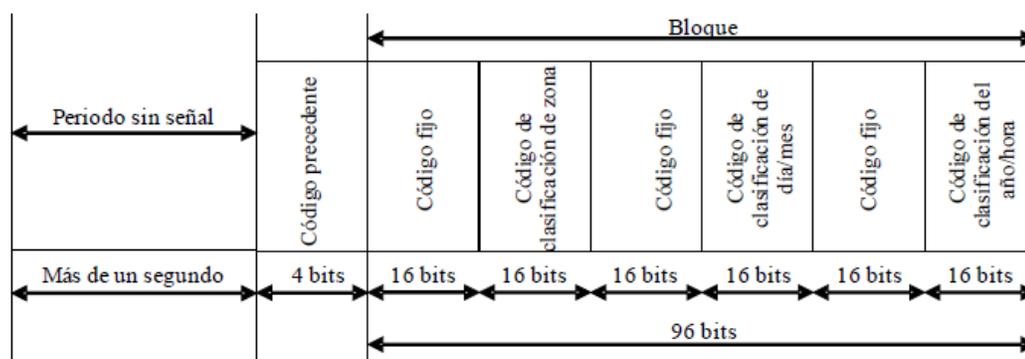
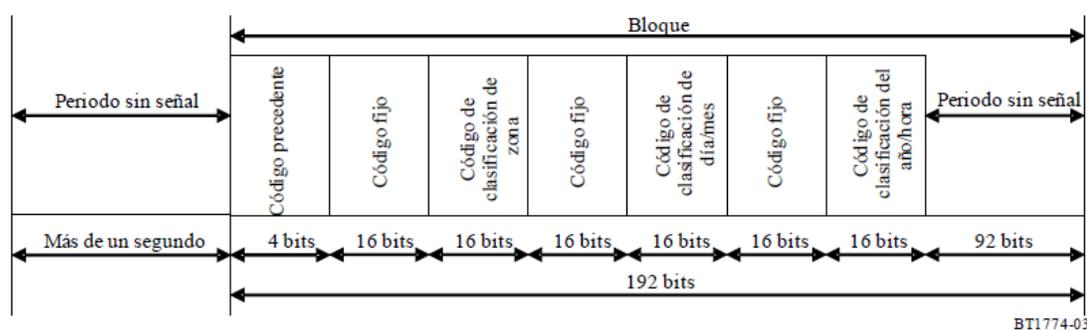


Figura 7. Configuración de la señal de arranque SAE [35]



BT1774-03

Figura 8. Configuración de la señal de finalización SAE [35]

Tanto para las [Figuras 7](#) y [8](#) la descripción de los siguientes campos es la misma:

- ✓ Código fijo: es un código de 16 bit inmanente a la señal SAE. Es utilizado para separar la señal SAE de las señales de sonido. También se utiliza para distinguir las señales de arranque de las Categorías I y II.
- ✓ Código de clasificación de zona: permite utilizar la señal SAE en lugares específicos. La función de este código es activar los receptores SAE en zonas donde las condiciones de propagación de la señal no son óptimas.
- ✓ Código de clasificación del año/mes/día/hora: este código garantiza que los receptores SAE no se activen por señales falsas y que la información que transmitan sea en tiempo real. Este código se registra y retransmite una vez que las señales SAE se han difundido.

Dentro de la radiodifusión sonora analógica, específicamente la transmisión en FM permite la difusión de mensajes de alerta mediante la característica de radiotexto (RT por sus siglas en inglés) del Sistema de Transmisión Digital (RDS), el cual permite presentar el mensaje de emergencia sin interrumpir el programa principal. El sistema RDS a través de ondas de radio FM aprovecha que una misma emisora se transmite en un determinado rango de frecuencias, para que el receptor de radio

con RDS realice una sintonización automática de la señal, sin afectar la calidad del audio. El sistema RDS permite además desarrollar diferentes aplicaciones como radiotexto, servicio de buscapersonas, sintonización automática y telecontrol entre las más relevantes. En el transmisor RDS, la señal que entra al modulador FM tiene un ancho de banda disponible de aproximadamente 90 KHz, de los cuales aproximadamente 53 KHz son usados por la señal de audio estéreo dejando una banda aproximada de 33 KHz para el aprovechamiento de otras aplicaciones. Después de aplicar una codificación diferencial, el mensaje se integra a la subportadora auxiliar modulada en amplitud, que es el tercer armónico (57 kHz) de la señal piloto en banda base. El mensaje trae incorporado audio, a través de un sistema opcional de síntesis de voz a partir de texto (TTS). La velocidad de los datos es de 1187,5 bit/s [35].

RT permite mostrar en el receptor un texto de 32 o 64 caracteres. Este se repetirá de manera cíclica durante el tiempo que el mensaje sea válido. El formato del mensaje y direccionamiento de RDS se establece en la norma EN 50067 [39]. En la Figura 9 se puede observar el formato de mensajes RDS [38], donde:

- ✓ *PI code*: código de identificación de programa, 16 bits
- ✓ *Group type code*: Código de tipo de grupo, 4 bits
- ✓ *Bo*: versión del código, 1 bit
- ✓ *PTY*: código del tipo de programa, 5 bits
- ✓ *Checksum + offset "N"*: campos añadidos para proporcionar protección contra errores e información de sincronización de bloque y grupo, 10 bits
- ✓ $t1 < t2$: el bloque 1 de cualquier grupo particular se transmite primero y el bloque 4 último

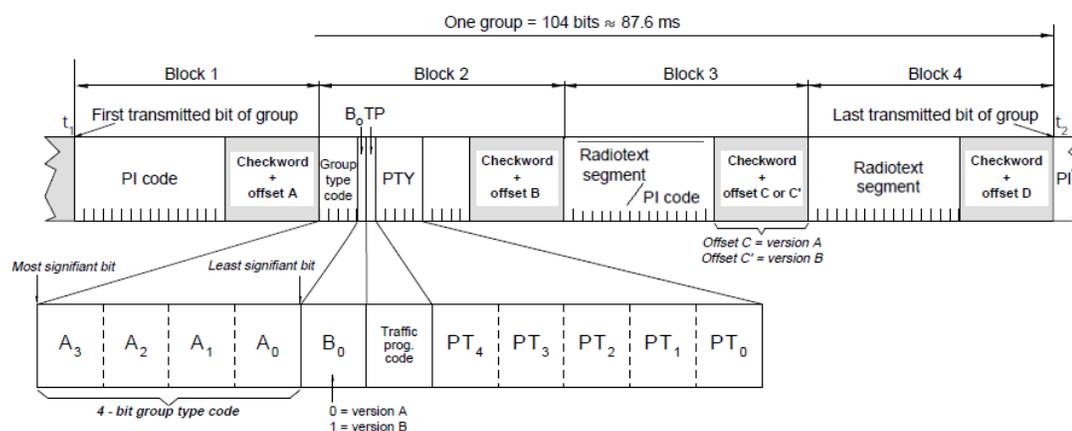


Figura 9. Formato de mensajes RDS [38]

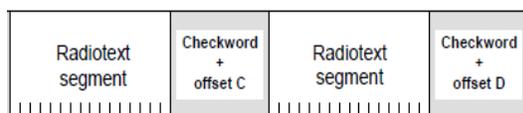


Figura 10. Bloque 3 y 4 grupo 2 [38]

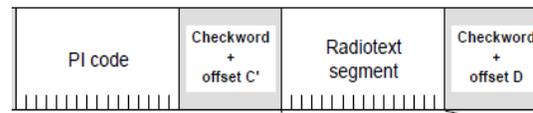


Figura 11. Bloque 3 y 4 grupo 2B [38]

Dentro del sistema RDS, existen diferentes grupos de información definidos cuyos tipos de grupo de denominan mediante un número (del 0 al 15) y una letra (A o B), por ejemplo, 0A, 0B, 1A, 1B etc.

El sistema de RT se incorpora en el grupo 2 (2A y 2B). En las Figuras 10 y 11 se pueden observar las diferencias entre los campos de las versiones A y B del grupo 2. El radiodifusor se encarga de compilar la información para enviarla como un mensaje de RT. Este se repetirá de manera cíclica durante el tiempo que el mensaje sea válido. Como en los demás grupos, existe la versión A y B; el grupo 2A ofrece la posibilidad de enviar un mensaje de 64 caracteres de longitud mientras que el grupo 2B ofrece la capacidad de 32 caracteres. Los cuatro bits de la categoría ‘Código de tipo de grupo’ serán “0010” para denotar el Grupo 2, mientras que el bit ‘Bo’ (correspondiente a la versión) será “0” para la versión A y “1” para la versión B.

Sistema opcional de alerta de emergencia ODA (*Open Data Application*)

El sistema RDS se implementó en toda Europa occidental, en varios países de Europa Central y Oriental, en algunos países de la región de Asia Pacífico, en Sudáfrica y en Estados Unidos (en este último RDS utiliza el nombre de Sistema de Datos de Radiodifusión (RBDS, por sus siglas en inglés [39]).

Dentro del estándar RBDS, el sistema de Aplicación de Datos Abiertos (ODA por sus siglas en inglés) del sistema de alerta de emergencia está definido para su uso en los Estados Unidos. Este conjunto de características opcionales está construido alrededor del sistema EAS desarrollado por la FCC y está abierto para uso público. RDS y RBDS permiten la transmisión silenciosa de información de emergencia. Esto se ha combinado con las funciones de emergencia existentes orientadas al consumidor, para permitir la operatividad de funciones adicionales de los receptores del consumidor. El ODA puede acomodar a sistemas privados de emergencia, pero también debe tenerse en cuenta que el Anexo Q (donde está definido ODA) del estándar RBDS no tiene una sección correspondiente en el estándar RDS. Es importante señalar que el sistema ODA ha sido diseñado para aumentar, en lugar de reemplazar las funciones RDS existentes relacionadas con la alerta de emergencia [39].

Dentro del formato de los mensajes RDS, es posible distinguir los mensajes a través del Grupo 9. El Grupo 9A está designado al Sistema de Alerta de Emergencia o a las ODA. Los grupos 9B, 10B, 11A, 11B, 12A y 12B son para uso exclusivo de las Aplicaciones de Datos Abiertos. En el formato de mensaje mostrado en la Figura 9, para denotar los Grupos 9A y 9B, la categoría ‘Código de tipo de grupo’ será “1001”. Para hacer posible la transmisión de este tipo de mensajes, es necesario anunciar con anterioridad a través de un mensaje del Grupo 1A (Código de tipo de grupo “0001”, Bo “0”) el Código de País Extendido (ECC, por sus siglas en inglés) debido a que los mensajes son asignados por la normativa de cada país. La tasa de información de las aplicaciones ODA es de 1187.5 bps [40].

Televisión analógica

El *closed caption* (CC) o subtítulos cerrados son el proceso de codificación electrónica del discurso televisivo de tal manera que, aunque es invisible para el espectador normal, un decodificador en el televisor (o un decodificador especial) puede decodificar la información y mostrarla como texto en el área de la imagen [41]. El CC entre otras informaciones, puede mostrar mensajes de emergencia. Ejemplo de ello es el hecho de que la FCC de Estados Unidos, estableció que todos los sistemas de televisión analógica deben ser capaces de enviar CC.

En el estándar, que contiene las características técnicas de los subtítulos cerrados de 21 líneas es el EIA-608-B. El mismo solo concibe el envío de mensajes del tipo meteorológico bajo la clase de Servicios Públicos, utilizado en Estados Unidos, por el Servicio Meteorológico Nacional. En este estándar aún no se consideraba la inclusión de las alertas para otro tipo de eventualidades [40].

3.4.2 Características de sistemas de alerta de emergencia por radiodifusión digital

Televisión Digital Terrestre

El primer estándar de televisión digital terrestre, *Advance Television System Committee* (ATSC), fue adoptado en 1995 por la FCC de EEUU y publicada con el nombre “A/53”. Como característica principal que lo diferencia de los demás estándares de televisión digital, es que es el único que no usa modulación *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex* (COFDM) [42], trabaja en un ancho de banda de 6 MHz, utiliza para la codificación de video MPEG-2 y el estándar de compresión de audio digital AC-3 para la codificación de audio.

La transmisión de alertas en A/53 se realiza a través de los flujos de datos de AC-3. Un flujo de AC-3 soporta 8 tipos de servicios de audios, dos servicios de audios principales y 6 servicios de audios asociados. Uno de los servicios asociados es el servicio de emergencia (E), el cual permite la inserción de anuncios de emergencia o de alta prioridad. El servicio E recibe prioridad en transporte y codificación de audio. Siempre que el decodificador reciba un servicio asociado de tipo E, se detendrá la reproducción de cualquier servicio principal que se esté recibiendo, para solamente reproducir el audio del servicio E en el canal central [43].

El estándar A/153 o ATSC M/H, se desarrolló en el 2009 para satisfacer la necesidad de recepción de televisión digital móvil y portátil. Éste comparte el mismo canal de RF que el estándar ATSC con la ventaja de poder utilizar canales de frecuencia completos o subcanales a través de transporte sobre IP. Este estándar es compatible con A/53 y a diferencia del estándar de televisión fija, ATSC M/H codifica la señal de audio mediante MPEG-4 AAC y el video mediante la sintaxis MPEG-4 AVC [44].

En el estándar A/153, se introduce el término de servicio de alerta de emergencia móvil (M-EAS, por sus siglas en inglés). El sistema M-EAS es compatible con mensajes en formato CAP, siendo capaz de extraer el texto del mensaje de emergencia y cualquier información adicional de los documentos emitidos por las autoridades de emergencia. El sistema M-EAS también es capaz de recibir y procesar información proveniente de medios como HTML, JPG y video MPEG-4. A través del sistema M-EAS, es posible hacer dos tipos de transmisiones: en tiempo real y en tiempo-no-real (NRT, para información adicional).

Para identificar la transmisión de un mensaje de alerta CAP y los servicios NRT, la Tabla de Alerta de Emergencia (EAT-MH) del estándar A/153, utiliza el formato genérico de las tablas de señalización de servicios. Los mensajes se despliegan en la pantalla con desplazamiento lento de abajo hacia arriba (*screen crawl*), donde se incluye información de localización. A través de la tabla EAT-MH se puede instruir al receptor a sintonizar un canal, un ensamble y un servicio determinado para recibir alertas, es decir, la tabla EAT-MH posibilita la sintonización automática del receptor para que reciba la información de la emergencia [40].

3.5 Sistemas de alertas de emergencias en redes satelitales

Desde la década de los años 70, los observatorios y servicios meteorológicos han utilizado los satélites meteorológicos para monitorear el surgimiento y evolución de fenómenos naturales como ciclones, huracanes y tifones en diferentes partes del mundo. Estos satélites tienen la capacidad de proporcionar imágenes sinópticas y frecuentemente han permitido que estos servicios u observatorios activen sus sistemas de alertas ante la presencia de fenómenos naturales destructivos. Para finales de la década de los años 90 ya se encontraban en órbita satélites capaces de medir de manera indirecta

la precipitación en cualquier región del mundo, mejorando aún más la capacidad de pronosticar el impacto de huracanes y tormentas tropicales [36]. México no ha quedado excluido del uso de imágenes satelitales, sobre todo contando con sus propios satélites y el Servicio del Clima Espacial México, como se ha comentado en epígrafes anteriores.

En cuanto a la utilización de satélites para transmitir alertas de emergencia ante la ocurrencia inminente de una catástrofe, la ETSI ha definido el protocolo de Encapsulación de Mensajes de Alerta Múltiple por Satélites (MAMES por sus siglas en inglés), que puede transportar, por ejemplo, mensajes de protocolo de alerta común (CAP) de manera eficiente a través de un enlace de satélite. Debido a su gran cobertura, las redes basadas en satélites son ideales para distribuir información de alerta, especialmente a grandes áreas o regiones sin acceso a otros servicios de comunicaciones. En Europa ya se utiliza el protocolo MAMES en los satélites Galileo / EGNOS (los programas europeos de navegación por satélite) de esta manera una autoridad de alerta pública puede enviar una solicitud de transmisión de emergencia a los satélites Galileo, a través de una infraestructura dedicada. Luego, los satélites transmiten el mensaje a los receptores Galileo integrados en los teléfonos (en septiembre de 2019, más de mil millones de teléfonos eran compatibles con Galileo). En los documentos ETSI TS 103 337 [45] y ETSI TR 103 338 [46] se pueden encontrar una especificación técnica y un reporte técnico respectivamente, con las pautas de implementación de MAMES [11]. En los siguientes sub-epígrafes se realizará una descripción más detallada del protocolo MAMES.

3.5.1 Protocolo de Encapsulación de Mensajes de Alerta Múltiple por Satélites (MAMES)

En el epígrafe anterior se realizó una introducción al protocolo de Encapsulación de Mensajes de Alerta Múltiple por Satélites (MAMES, *Multiple Alert Message Encapsulation over Satellite*) definido por la ETSI. Este protocolo es de gran importancia dado que es el único estándar de comunicaciones encontrado en la bibliografía consultada, para la transmisión de mensajes de alertas al público mediante comunicaciones satelitales. A continuación, se realizará un análisis sobre el funcionamiento de este protocolo.

Entre los principales objetivos de MAMES se encuentran [45]:

- ✓ Definir un protocolo de encapsulación para el transporte de mensajes de protocolos de alertas sobre enlaces satelitales, así como sobre otros enlaces de comunicaciones terrestres, como GSM, LTE, etc.
- ✓ Proveer un esquema de encapsulación flexible y extensible.
- ✓ Apoyar la entrega de mensajes de protocolos de alerta que se ajusten a un estándar o especificación de protocolo de alerta avanzado (CAP) y protocolos de alertas básicos (por ejemplo: texto no estructurado, datos de audio, imágenes digitales, etc.).
- ✓ Encapsular uno o una concatenación de mensajes de protocolo de alerta (por ejemplo, CAP, texto no estructurado, imagen, datos de audio, etc.).
- ✓ Definir funciones adicionales (opcionales) para la adaptación a situaciones de crisis específicas y la extensión del servicio.

Se espera que MAMES se utilice principalmente en redes de satélite, pero nada impide que funcione en otras redes terrestres.

Funcionamiento del protocolo MAMES

El protocolo MAMES funciona de la siguiente manera. En la creación de la alerta, al recibir los datos relevantes del incidente, el emisor de alerta formula un mensaje de alerta, que generalmente lleva información sobre el suceso, la población o el área a alertar. El mensaje de alerta se envía al

Proveedor MAMES (centros de telemetría), que encapsula el mensaje de alerta en un mensaje MAMES y lo distribuye al área de notificación, utilizando su conectividad a la red satelital [45].

En el lado del usuario de la red, al recibir un mensaje MAMES, el receptor MAMES desencapsula el mensaje de alerta que se encuentra dentro la carga útil MAMES, después define (basado en datos de ubicación) si tiene permitido o no, procesar más el mensaje. Luego, el mensaje de alerta desencapsulado se reenvía a los dispositivos de alerta (por ejemplo, una sirena o un teléfono inteligente), los cuales transmiten la información de alerta a los usuarios

En la Figura 12 se puede observar este funcionamiento y la jerarquía de tres capas de las redes involucradas en la cadena de alerta [46]:

- ✓ la Red de Alerta, que contiene el Emisor de Alerta y el Dispositivo de Alerta
- ✓ la Red MAMES, que contiene el Proveedor MAMES y el Receptor MAMES
- ✓ la red SatCom / SatNav / Com¹, que proporciona la conectividad física entre el proveedor MAMES y el receptor MAMES

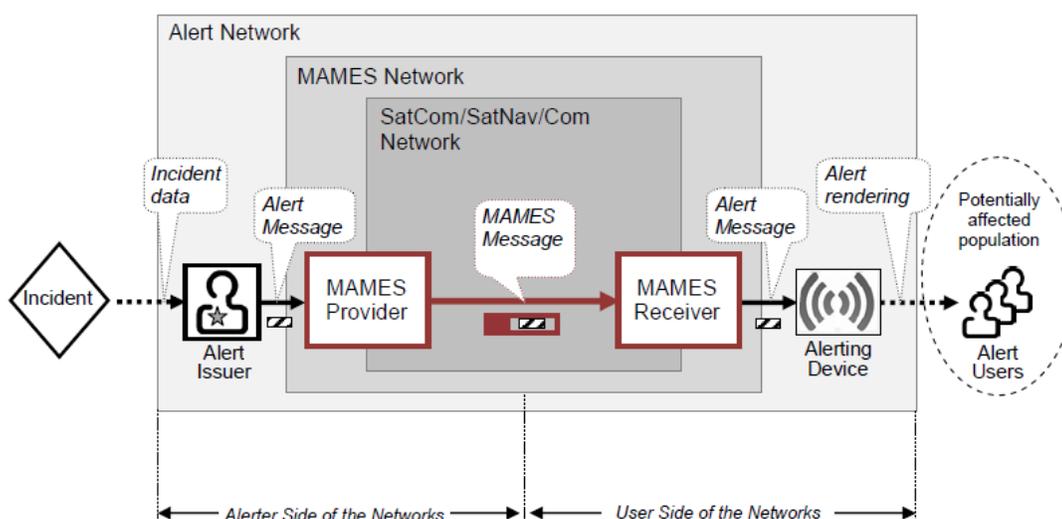


Figura 12. Descripción General del Funcionamiento de MAMES [45]

3.5.2 Trama y tipos de mensajes MAMES

Una trama MAMES está compuesta por [45]:

- ✓ un conjunto de encabezados MAMES, que puede incluir: Encabezado obligatorio (MH, *Mandatory Header*); encabezados de extensión (EH, *Extension Headers*); encabezados de mensajes de alerta (AMH, *Alert Message Headers*)
- ✓ una carga útil MAMES, que comprende una concatenación de mensajes de protocolo de alerta (cero, uno o varios mensajes de protocolo de alerta)

¹ Red de comunicaciones basada en tecnología de comunicaciones por satélite, navegación por satélite o comunicaciones terrestres (cableadas, inalámbricas o móviles)

Un mensaje de protocolo de alerta puede ser un mensaje formateado de acuerdo con un protocolo de alerta avanzado (por ejemplo, CAP, con varios tipos de mensajes dedicados) o un mensaje simple que se ajuste a un tipo de medio arbitrario (texto, audio, imagen, etc.).

El protocolo MAMES define cinco tipos de mensajes: *MAMES Alert*, *MAMES Ultra-short Alert*); *MAMES Update*, *MAMES Cancel* y *MAMES ACK*. Al recibir un mensaje de alerta del emisor de alerta, un proveedor de alerta MAMES genera una trama MAMES seleccionando uno de los tipos de mensajes definidos. Esta selección depende entre otros factores de las instrucciones proporcionadas por el emisor de alerta y de la disponibilidad de recursos de red que el proveedor de alertas MAMES utiliza para la distribución de mensajes MAMES. Por otro lado, el proveedor de alerta MAMES también puede generar mensajes MAMES por iniciativa propia (*MAMES Update* o *MAMES Cancel*) por razones internas, para los casos de transmisiones erróneas o para la corrección de un mensaje MAMES enviado con anterioridad.

3.5.3 Diferentes escenarios en la recepción de alertas MAMES

La función del receptor del mensaje MAMES es desencapsular las tramas MAMES recibidas y reenviar los mensajes de alerta resultantes a sus dispositivos de alerta asociados. Desde el punto de vista del receptor las alertas pueden ser directas o indirectas. Las alertas directas son aquellas con un esquema de alerta basado en MAMES mediante el cual la terminal de satélite y el receptor MAMES se ubican juntos, es decir, integrados en un solo dispositivo o interconectados a través de un enlace físico directo (Escenario A de la Figura 13). La alerta indirecta consiste en un esquema de recepción donde el terminal satelital y el receptor MAMES están interconectados a través de una red (Escenario B de la Figura 13). La alerta indirecta MAMES también implica que el receptor MAMES puede colocarse en una ubicación alejada de la terminal satelital y que posiblemente se integre con el dispositivo de alerta.

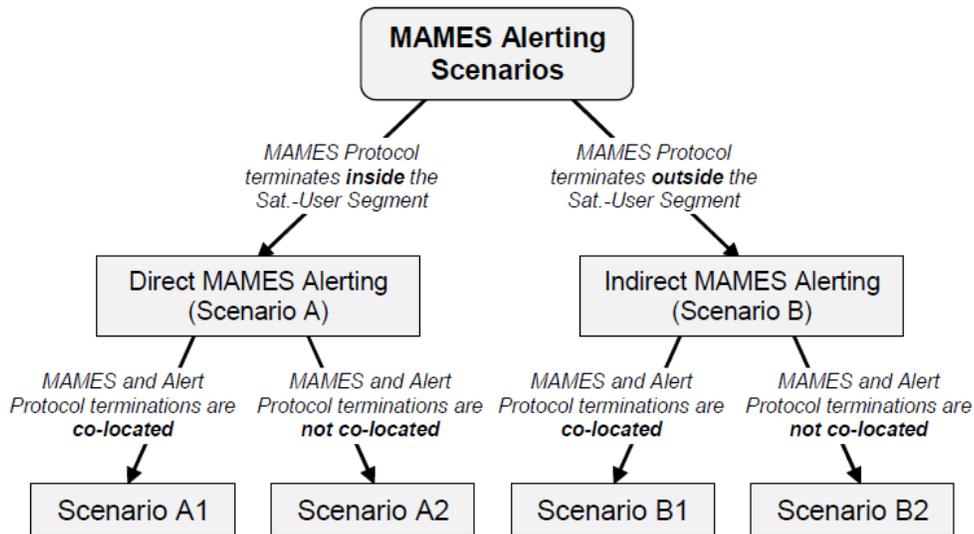


Figura 13. Clasificación de los escenarios de alerta de MAMES [46]

En la figura anterior se puede observar que tanto la alerta directa como la indirecta se pueden dividir en dos escenarios en dependencia si el Protocolo de MAMES y el Protocolo de Alerta se encuentran físicamente dentro de la misma entidad. Estos escenarios son A1, A2, B1 y B2 respectivamente. A continuación, se pueden ver ejemplos de estos escenarios [46]:

- ✓ Escenario A1: Puede ser un terminal de satélite móvil de mano con una aplicación MAMES instalada, por lo que el papel de dispositivo de alerta lo desempeñarían la pantalla y/o el altavoz del terminal. Otro ejemplo sería una antena parabólica montada en la azotea, cuya unidad interior contendría un receptor MAMES basado en *software*. A través de enlaces directos (alámbricos o inalámbricos), varios de estos dispositivos de alertas se conectarían a la unidad. También sería ejemplo de este escenario una antena parabólica montada en el techo, cuya unidad interior se le conectarían de manera directa varios dispositivos de alerta con capacidad MAMES.
- ✓ Escenario A2: Un ejemplo sería una antena parabólica montada en la azotea, cuya unidad interior contiene un receptor MAMES basado en *software*. Esa unidad estaría conectada a una red de área local (cableada o inalámbrica) que distribuye el mensaje de alerta a varios dispositivos de alerta (por ejemplo, sirenas o pantallas) dentro de la red.
- ✓ Escenario B1: Ejemplo de este escenario sería una antena parabólica montada en la azotea, cuya unidad interior no sea capaz de recibir mensajes MAMES. Sin embargo, esa unidad estaría conectada a una red de área local (cableada o inalámbrica) que transmitiría el mensaje de alerta a varios dispositivos de alerta incorporados con capacidad MAMES (por ejemplo, sirenas o pantallas), los cuales también estarían acoplados a esa red de área local.
- ✓ **Escenario B2:** Este ejemplo sería una antena parabólica ubicada en la azotea, cuya unidad interior (no compatible con MAMES) estaría interconectada, a través de una red de área local cableada, a un receptor MAMES independiente (dispositivo dedicado), que a su vez estaría conectado a varios dispositivos de alerta a través de una red inalámbrica local o de área amplia. El receptor MAMES en esta configuración, podría colocarse dentro de una oficina, mientras que los dispositivos de alerta (no compatibles con MAMES) (por ejemplo, pantallas altavoces y sirenas) podrían ubicarse en diferentes sitios concurridos de la ciudad.

El escenario B2 será utilizado en la propuesta de sistema de alerta de emergencia satelital.

3.5.4 Integración de MAMES con una red de transmisión por satélite fijo

Como se puede observar en la [Figura 14](#), en el Segmento de Tierra (*Ground Segment*) la estación de enlace ascendente del sistema de transmisión por satélite fijo debe admitir una interconexión estrecha con el proveedor MAMES para permitir la integración eficiente de las tramas MAMES en la tecnología de capa inferior del sistema SatCom (Comunicaciones Satelitales). De hecho, la estación de enlace ascendente debería ofrecer una interfaz local directa para el proveedor MAMES, la cual permitiera el acceso en tiempo real a la situación de los recursos de enlace ascendente del sistema SatCom antes de la transmisión, sobre todo para garantizar que el tamaño de la trama MAMES no exceda la capacidad del sistema [46].

Redes sociales y notificación de alertas

Las redes sociales no están diseñadas para soportar el tráfico de información en la etapa más aguda de una situación de emergencia, sobre todo por dependencia de tecnologías subyacentes, pero por el alcance de estas constituyen un importante medio de apoyo en la difusión de alertas. Los servicios de emergencia han incorporado las redes sociales en sus planes de comunicación y difunden activamente alertas y advertencias a través de cuentas existentes en las principales plataformas de redes sociales como Twitter o Facebook. Algunos servicios de alertas dedicados a sus usuarios en las redes sociales son *Beauvau-Alerte* y *Twitter Alert*. Este último consiste tweets de alta prioridad de agencias públicas seleccionadas y organizaciones de seguridad pública, enviados a los suscriptores como notificaciones móviles solo durante situaciones de crisis. Además de enviarse a un teléfono, las alertas de *Twitter* también se destacan en la línea de tiempo de la pantalla de inicio [11].

Las redes sociales al proporcionar una comunicación bidireccional, está expuesta a la generación de rumores y falsas alertas, es por eso que se debe prestar atención a esta vulnerabilidad. Existe grupos como VOST (Equipos de apoyo a operaciones virtuales), entre cuyas funciones tienen apoyar a los originadores oficiales en la lucha contra los engaños y la difusión de mensajes oficiales [11]. La forma en que opera VOST varía de un país a otro y, a veces, incluso de una región a otra dentro de un país, pero operar bajo acuerdos con organizaciones de seguridad pública es una práctica común, y esto incluye el apoyo en la transmisión de mensajes de alertas de emergencias.

3.7 Ejemplo de sistemas de alertas de emergencias

Muchos países han implementado sus propios sistemas de alertas. Como se podrá apreciar a continuación algunos países utilizan sistemas de transmisión celular y servicio de mensajes cortos para alertas de emergencia. Sin embargo, otros países utilizan la radio, la televisión, las redes sociales y el correo electrónico.

3.7.1 Estados Unidos

El Sistema Integrado de Alerta y Advertencia Pública (IPAWS) es una infraestructura de alerta nacional disponible para uso de las autoridades de alerta pública locales, estatales, territoriales, tribales y federales para enviar alertas de emergencia a los ciudadanos. La Oficina de Administración de Programas (PMO) de IPAWS trabaja para proporcionar a las autoridades de alerta no federales las capacidades y la resistencia que ofrece IPAWS. Las autoridades locales, estatales, territoriales, tribales y federales pueden optar por usar IPAWS y también pueden integrar sistemas locales de alerta o respuesta a emergencias que usan estándares del Protocolo de Alerta Común (CAP) con la infraestructura de IPAWS. IPAWS proporciona a los funcionarios de seguridad pública una puerta de enlace integrada para enviar mensajes de alerta y advertencia al público mediante el Sistema de Alerta de Emergencia (EAS por sus siglas en inglés), Alertas de Emergencia Inalámbricas (WEA por sus siglas en inglés), radio meteorológica NOAA (NWR) y otros sistemas de alerta pública, todo desde un solo interfaz [47].

3.7.2 Japón

En Japón, debido al alto número de incidencia de terremotos, se desarrolló un sistema de alerta de terremotos conocidos como “*Area Mail*”, el cual entró en funcionamiento en el 2007 y fue operado

por NTT DoCoMo². La Agencia Meteorológica de Japón (JMA, por sus siglas en inglés) envía notificaciones al sistema que contienen la información sobre fenómenos y su posible evolución, provista por gobiernos locales u órganos autorizados a NTT DoCoMo, el cual transmite las alertas correspondientes al público general vía CBS. Cuando ocurre un terremoto de magnitud considerable, se envía un mensaje del JMA al CBC en NTT DoCoMo. El mensaje se transmite a las estaciones bases de las áreas involucradas, en japonés y se visualiza en los teléfonos móviles como una ventana emergente con su tono de alerta. Este tono no puede ser cambiado por el usuario y está estandarizado por todos los operadores móviles para evitar confusiones con otros tipos de mensajes [10].

3.7.3 Canadá

El sistema nacional de alerta en Canadá recibe el nombre de *Alert Ready*. El mismo consta de infraestructura y estándares para la presentación y distribución de alertas públicas emitidas por las autoridades gubernamentales como emergencias meteorológicas, alertas AMBER y otras notificaciones de emergencia para todas las estaciones de televisión, estaciones de radio, proveedores de redes móviles LTE. Estas notificaciones incluyen alertas de la Agencia de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá y otras agencias provinciales de seguridad pública incluidas. El sistema de alertas basado en CBS de Canadá es un derivado del sistema WEA de Estados Unidos, el cual también utiliza *Cell Broadcast* y comenzó a funcionar el 6 de abril de 2018 en todas las redes LTE canadienses. *Alert Ready* realiza pruebas de sensibilización pública dos veces al año, en las que se distribuye un mensaje de prueba de 30 segundos (60 segundos en las provincias donde se emiten mensajes bilingües) a los medios de radio y televisión, y se envía un mensaje de difusión celular a los teléfonos móviles [11].

3.7.4 Chile

En el caso de Chile, en febrero de 2010, el país sufrió uno de los peores terremotos de su historia, cuya devastación se acrecentó dado que también fue golpeado por un devastador tsunami justo después del terremoto. Dado que Chile no contaba con un sistema de notificación y alerta de emergencia adecuado para alertar a la población objetivo a tiempo, a pesar de que el Centro de Alerta de Tsunamis del Pacífico de EE. UU. brindó la información de forma oportuna, fue mayor el número de víctimas por el tsunami que por el propio terremoto. Por orden presidencial la Subsecretaría de Telecomunicaciones de Chile (Subtel) emitió el 14 de enero de 2011 una licitación oficial para el despliegue del sistema de alerta y notificación de emergencias de próxima generación de Chile.

En octubre de 2011, entró en operaciones la primera fase del sistema basada en la tecnología de transmisión celular. Ahora se está ampliando con capacidades adicionales como la notificación por TV, radio e Internet. El sistema en Chile fue el primer sistema de su tipo en las Américas, y también avanzó los estándares de alerta pública de transmisión celular del sistema WEA de Estados Unidos. El sistema utiliza protocolos estándar basados en el CAP v.1.2 [11].

3.7.5 Suecia

En Suecia las alertas de emergencia se transmiten vía radio, televisión y un sistema de avisos exteriores. Este sistema de avisos cuenta con alrededor de 4500 sirenas, las cuales se encuentran

² Operador predominante de telefonía móvil en Japón

instaladas en prácticamente todas las zonas urbanizadas de más de 1.000 habitantes y en los alrededores de las centrales nucleares.

En febrero de 2013, el Departamento de Defensa encomendó a *SOS Alarm*³ la tarea de modernizar el sistema de alerta de emergencia pública existente, para que el mismo pudiera enviar mensajes de voz a líneas fijas, mensajes de texto (SMS) a todos los teléfonos móviles (viajeros suecos e internacionales), así como enviar mensajes de texto a teléfonos móviles que llevaran ciudadanos suecos que viajan al extranjero [11].

En la actualidad el sistema de alerta modernizado de Suecia está configurado para enviar SMS basados en la ubicación a ciudadanos y turistas durante emergencias, así como se puede utilizar para enviar alertas a los ciudadanos suecos que viajan al extranjero. También se le ha implementado una función de *geofencing*, lo que permite que un teléfono móvil que ingrese al área donde se emite una alerta de emergencia pública reciba la alerta, e incluso si los usuarios han abandonado el área, aún recibirán un mensaje de "el peligro ha terminado" cuando se emita.

Como se puede observar en la [Figura 15](#), el sistema de alerta de emergencia actual de Suecia ha evolucionado desde 2013 para ser una plataforma con múltiples mecanismos de alerta modernos.

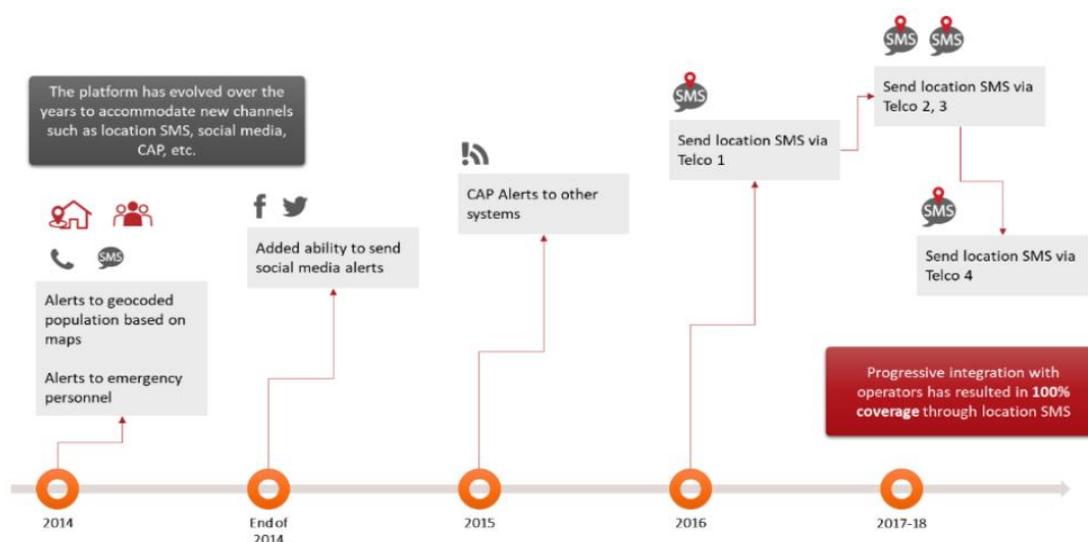


Figura 15. Evolución Sistema de Alerta de Emergencia de Suecia [11]

3.7.6 Barbados

En Barbados, el Departamento de Manejo de Emergencias (DEM) está a cargo del desarrollo e implementación del Programa de Manejo de Emergencias en Barbados. La DEM también está a cargo del Sistema Nacional de Manejo de Emergencias, mecanismo que facilita la coordinación con los distintos Estados, ONG y agencias del sector privado que se encargan de atender las necesidades de desastres naturales o humanos. Las alertas se transmiten vía televisión, radio, medios impresos y

³ Empresa sueca que opera el número de emergencia 112

telecomunicaciones, lo que incluye la recepción a través de líneas móviles y fijas, fax, SMS, radio VHF / UHF, televisión y correo electrónico [26].

3.7.7 Sri Lanka

En Sri Lanka, a partir del 2009 entro en funcionamiento Red de Alertas de Emergencias y Desastres (DEWN, por sus siglas en inglés). En el sistema DEWN, se recibe de múltiples fuentes (como el centro de Alertas de Tsunamis del Pacífico, *Met Office*, etc.), la información sobre desastres y alertas de emergencias. Esta información se envía al Centro de Operaciones de Emergencia (COE) del Centro de Gestión de Desastres del gobierno. Ante un desastre el DEWN alerta en primer lugar al personal de emergencia a sus teléfonos particulares; y luego de que la amenaza ha sido verificada, la alerta se transmite al público en general de la posible zona afectada, reduciendo así, las falsas alarmas. El COE recibe las alertas, las verifica y las autentica. Cuando se comprueba la fiabilidad de la alerta, esta es enviada a través de la interfaz segura de alerta DEWN y del Centro de Transmisión Móvil (CBC). Los mensajes de alertas se pueden recibir hasta en teléfonos celulares básicos de 2G, siempre y cuando cuenten con una aplicación de Java. Estas alertas se transmiten en los tres idiomas existentes en el país. Otro medio de recepción de alertas es a través de dispositivos dedicados de DEWN que se encuentran en lugares públicos, los cuales cuentan con lámparas intermitentes y alarma sonora. Aunque este servicio de alerta utiliza la función de transmisión móvil de la red *Dialogs*⁴, estas también pueden ser enviadas a otros proveedores locales que no cuenten con CBS implementado para que las distribuya vía SMS [10].

⁴ Mayor proveedor de servicios de telecomunicaciones de Sri Lanka

4 Tecnologías en Desarrollo de Sistemas de Alertas y Emergencias

Partiendo del estudio de los estándares y tecnologías utilizadas actualmente a nivel internacional que tienen un impacto directo en la implementación de alertas de emergencias; y comprobando a lo largo de este trabajo investigativo que estos estándares y tecnologías cuentan con versiones actualizadas y en desarrollo en algunos casos; constituye un aspecto importante tenerlos en cuenta en la elaboración de una propuesta de un sistema de alertas de emergencia integral, en aras de evitar limitar dicha propuesta por el constante avance tecnológico del mundo de las telecomunicaciones.

En este capítulo se estudiarán los estándares y tecnologías de sistemas de telecomunicaciones en desarrollo, que pueden ser utilizadas por los sistemas de alerta de emergencia de manera tal que estos ganen en cobertura, eficiencia y confiabilidad. Entre estas tecnologías estarán la televisión digital con el estándar ATSC 3.0, radio digital con el sistema IBOC y redes móviles 5G.

4.1 Normatividad

Algunas de las normas, especificaciones técnicas, protocolos o legislaciones que regulan el uso y funcionamiento de las tecnologías de alertas de emergencias ya se mencionaron en capítulo 3. Sin embargo, en este epígrafe se hará referencia a los “Lineamientos que establecen el Protocolo de Alerta Común conforme al Lineamiento Cuadragésimo Noveno de los Lineamientos de Colaboración en materia de Seguridad y Justicia” publicado en el Diario Oficial de la Republica el 30 de enero del 2020. Estos lineamientos se utilizarán para establecer un esquema de alertas basado, como bien lo indica su nombre en los principios de funcionamiento del Protocolo de Alerta Común (CAP) el cual utiliza como base la recomendación de la UIT-T X.1303 bis [48]. Para evitar confusiones en adelante y para diferenciarlo del Protocolo de Alerta Común (CAP), los “Lineamientos que establecen el Protocolo de Alerta Común conforme al Lineamiento Cuadragésimo Noveno de los Lineamientos de Colaboración en materia de Seguridad y Justicia” serán referidos como “Lineamientos del PAC”.

Los “Lineamientos del PAC” emiten una recomendación para mejoras prácticas en la transmisión de información sensible en situaciones de emergencia utilizando el Protocolo de Alerta Común (CAP). De acuerdo al mismo, la Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC) de la Secretaria de Gobernación (SEGOB) administrará una plataforma electrónica llamada Colector de Alertas que permitirá la concentración, gestión, manejo, procesamiento, almacenamiento y / o envío de las alertas emitidas por los diferentes sistemas de monitoreo ante situaciones de emergencia. También permitirá que se proporcionen mecanismos para que los Concesionarios y Autorizados de telefonía móvil, radiodifusión, televisión y audio restringido cooperen de manera oportuna y efectiva con las autoridades competentes para alertar a la población de los riesgos o emergencias en materia de protección civil [49].

4.1.1 Características de los Lineamientos del PAC en México

En los “Lineamientos del PAC”, se especifican algunos requisitos en la transmisión de mensajes de alertas y que serán de estricto cumplimiento por parte del gobierno, los Autorizados⁵ y los Concesionarios⁶ [49]:

- ✓ El CNPC podrá emitir las alertas a los Concesionarios y en su caso Autorizados en los casos previstos por la normatividad aplicable.
- ✓ El mensaje de alerta estará conformado por los campos establecidos en el protocolo CAP según la Recomendación UIT-T X.1303 [48].
- ✓ Los mensajes de alertas que contengan archivos de audio, estos deben ser monoaurales y en formato mp3.
- ✓ El CNPC delimitará las áreas geográficas donde se difundirán las alertas.
- ✓ Los concesionarios y en su caso Autorizados del servicio móvil de radiodifusión y de televisión deberán implementar la Plataforma de Comunicación⁷ con el fin de soportar el CAP en coordinación con el CNPC.
- ✓ Los Concesionarios y Autorizados deberán realizar las modificaciones de infraestructura, sistemas, y/o instalación de interfaces que sean necesarias para la correcta recepción y difusión de las alertas.
- ✓ Para el servicio móvil, la transmisión de las alertas se realizará mediante una aplicación móvil y CBS conforme a los estándares internacionales.
- ✓ En el caso de la televisión radiodifundida y de la televisión restringida, las alertas se desplegarán en pantalla completa, fondo color rojo, texto color blanco. El texto estará centrado y debe poder visualizarse con cualquier relación de aspectos.
- ✓ Introducir una señal audible previa a la alerta (ver características de la señal en Anexo III de [49]) en caso de que la misma no esté incluida en los archivos enviados por el CNPC, estos se encuentren dañados y/o el equipo receptor de alertas no cuente con una señal audible predefinida.
- ✓ Los Concesionarios y en su caso Autorizados que presten el servicio móvil, de radiodifusión y de televisión y audio restringidos deberán contar con conectividad al Colector de Alertas Primario y al Colector de Alertas Secundario.
- ✓ Se debe configurar sus equipos y sistemas para que la actualización y/o recuperación continua de los Mensajes de Alerta se establezca en intervalos menores a un minuto, para que la recepción de los Mensajes de Alerta se valide de manera constante.
- ✓ Los Concesionarios y, en su caso, Autorizados del servicio móvil, de radiodifusión, y de televisión y audio restringidos se les asigna un área para atender, en todo momento, las solicitudes y acciones vinculadas con la priorización de las comunicaciones por Riesgo o situaciones de Emergencia provenientes de la Coordinación Nacional de Protección Civil de la Secretaría de Seguridad y Protección Ciudadana. Esta área recibe el nombre de “Área Responsable”. A cada Concesionario o Autorizado se le podrá asignar de manera individual su Área Responsable o, en su defecto, se les asignará a grupos de concesionarios y/o

⁵ Aquel que preste, comercialice o revenda servicios de telecomunicaciones o capacidades, sin tener el carácter de concesionario

⁶ Persona física o moral que presta servicios públicos de telecomunicaciones y radiodifusión, y es titular de una concesión para usar aprovechar y explotar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico

⁷ Sistemas electrónicos que administrarán los Concesionarios y en su caso Autorizados los cuales les permitirán la gestión, manejo, procesamiento, almacenamiento y/o difusión de las alertas provenientes de la DGPC-SEGOB

Autorizados, informando a la CNPC y al IFT de la decisión tomada a través del formato previsto en el Anexo IV.

El documento cuenta además con 5 anexos donde se incluyen la descripción de los segmentos y elementos que componen el mensaje CAP (del protocolo CAP), la forma de presentación de las alertas a las audiencias, características de la señal audible y los formatos de los modelos de registros de fallas y registros de mantenimiento.

Los Lineamientos del PAC constituyen un paso de vital importancia en la creación de un sistema nacional de alertas para México, pues exige a todos los implicados en la transmisión y difusión de las alertas (gobierno, autorizados y concesionarios) a centralizar la difusión de las mismas, ganando en credibilidad, confiabilidad e inmediatez.

4.2 Radio Digital Terrestre (RDT)

En todo el entorno de los medios de comunicación, las tecnologías digitales han ido ganando espacio, reemplazando herramientas analógicas, las cuales históricamente se utilizaron en los procesos de producción, almacenamiento y transmisión de contenidos. Esta confluencia tecnológica, a través de grandes redes de telecomunicaciones, ha propiciado que los contenidos, habitualmente transmitidos por radio y televisión, se distribuyan ahora por variados medios digitales y que sean consumidos a través de una gran diversidad de dispositivos electrónicos [50].

Los estándares de Radio Digital Terrestre (RDT) y Televisión Digital Terrestre (TDT) han sido adoptados, para transmitir sus señales, por las empresas del servicio de radiodifusión sonora y televisión radiodifundida, aprovechando las ventajas de la tecnología digital que son, entre otras [50]:

- ✓ Mayor calidad y robustez de la señal
- ✓ Puede incluir servicios adicionales en una misma señal
- ✓ Permite la optimización del espectro radioeléctrico

4.2.1 Sistema C – IBOC o NRSC-5

El Sistema Digital C, es conocido también como IBOC DSB, y se le considera un sistema desarrollado completamente [49]. Este sistema se le puede encontrar bajo el nombre de NRSC-5 en referencia al estándar del Comité Nacional de Sistemas de Radio (NRSC por sus siglas en inglés), el cual es la institución encargada de definir los estándares de la industria en los Estados Unidos de América. Aunque estándar NRSC-5 no tiene definida una implementación relativa con una marca, el principal desarrollador de esta tecnología fue la empresa *Ibiquity Digital Corporation*, la cual forma parte del grupo XPERI. La marca comercial utilizada por esta compañía para el estándar IBOC es HD Radio [50].

El Sistema IBOC fue diseñado para proporcionar recepción vehicular, portátil, móvil y fija mediante transmisores terrestres. Una característica importante del sistema es su capacidad para ofrecer transmisión simultánea de señales analógicas y digitales en la banda de transmisión de FM existente, aunque también puede ser implementado en el espectro no ocupado. Esta característica del sistema permite una transición racional para las emisoras de FM existentes que buscan la transición de la transmisión analógica a la digital [51].

El Sistema IBOC brinda una calidad de audio mejorada similar a la que ofrecen los medios digitales. Adicionalmente el sistema agrega flexibilidad para que los organismos de radiodifusión promuevan nuevos servicios de transmisión de datos.

IBOC permite además, la asignación de bits para maximizar las capacidades de transmisión de datos agregando información climatológica y de tráfico, información de programación avanzada como imágenes de álbumes o publicidad y la información concerniente a la emisión, como títulos, textos y datos de contacto [50].

4.2.2 Principales estándares de RTD

En [50], en su última modificación de 2019, se incluye la descripción de los sistemas A, C, F, G, H e I los cuales corresponden a los principales estándares de radiodifusión digital presentes a nivel mundial:

- ✓ Sistema A: también conocido como Eureka 147 *Digital Audio Broadcasting* (DAB) referido en el estándar ETSI EN 300 401 [52].
- ✓ Sistema C: se refiere al sistema IBOC referido en el estándar NRSC-5. Este sistema fue estandarizado en Estados Unidos de América [53].
- ✓ Sistema F: se refiere a *Integrated Services Digital Broadcasting –Terrestrial for Sound Broadcasting* (ISDB-T_{sb}) referido en la Recomendación ITU-R BS.774 Este sistema fue estandarizado en Japón [54].
- ✓ Sistema G: se refiere a *Digital Radio Mondiale* (DRM) bajo el estándar ETSI ES 201 980 980V3.1.1. Este sistema fue estandarizado en Europa [55].
- ✓ Sistema H: también conocido como *Convergent Digital Radio* (CDR) el cual fue estandarizado en la República Popular de China. De este proceso se ha derivado la adopción del sistema conocido como CDR o GY/T 268.1-2013 (2013.08) [50].
- ✓ Sistema I: también conocido como *Real-time AudioVisual Information System* (RAVIS) se ha desarrollado para aplicaciones de transmisión terrestre en todas las bandas de frecuencia asignadas en todo el mundo para la transmisión de sonido FM analógico. Ha sido adoptado por la Federación Rusa bajo el estándar GOST R 54309-2011 [50].

El estándar adoptado en México es IBOC.

4.2.3 Capacidades de alerta de emergencia de IBOC

Las alertas de emergencias transmitidas con el estándar IBOC a través de la tecnología HD Radio tienen mayores prestaciones de las alertas transmitidas con radio analógicas. Esto se debe a las características de la radio digital, la que permite una recepción más resistente a la interferencia y la eliminación de muchas imperfecciones de la transmisión y recepción de radio analógica. Por otro lado, mientras que las emisoras de radio que transmiten mensajes de alertas a través de una señal analógica se limitan a proporcionar un mensaje de audio básico, las capacidades de datos digitales de la tecnología HD Radio permiten a las emisoras digitales mejorar sus transmisiones de mensajes de emergencia al proporcionar contenido más rico y detallado, que incluye, por ejemplo, idiomas alternativos, mensajes de texto, imágenes y mapas [56].

Es importante destacar que el protocolo de transmisión de alerta de emergencia de HD Radio es completamente compatible con CAP, lo que permite la difusión de todo el contenido enriquecido facilitado por CAP (por ejemplo, notificaciones de texto mejoradas, información visual y mensajes multilingües) a receptores de HD Radio habilitados para alertas de emergencia.

Además, la tecnología HD Radio pronto ofrecerá los siguientes servicios mejorados de alerta de emergencia [56]:

- ✓ Información visual multimedia, incluidos gráficos, imágenes, mapas y enlaces URL, lo que puede proporcionar información crítica mejorada sobre el momento, la ubicación y la gravedad de una amenaza
- ✓ Alerta de primeros auxilios. El sistema HD Radio puede enviar datos aislados a receptores específicos, lo que permite el establecimiento de una red de datos segura para que la policía, los bomberos y otros primeros respondedores reciban informes de situación específicos. Se espera que esta funcionalidad esté disponible antes de que finalice el año 2021.

4.2.4 Sistema de Transmisión de Alertas de IBOC

El estándar NRSC-5D del 2017 hace referencia a la transmisión de mensajes de alertas en RDT, específicamente el estándar IBOC. En la [Figura 16](#) se puede observar el sistema de transmisión de IBOC.

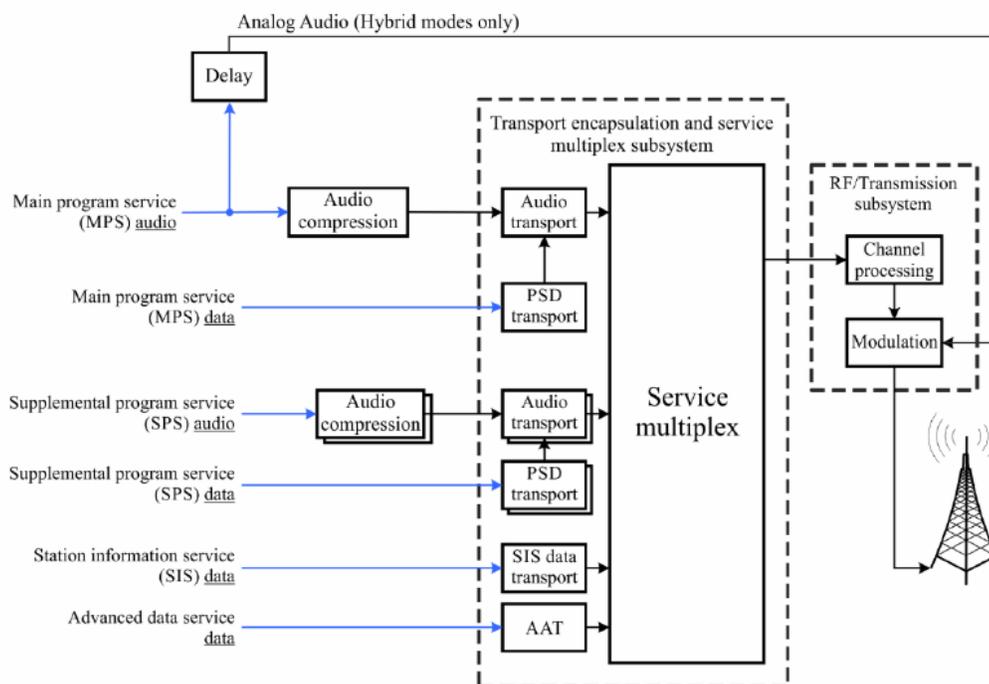


Figura 16. Sistema de transmisión de IBOC [49]

En la misma se puede apreciar la *Station Information Service (SIS) data* la cual es el segundo tipo principal de entrada de datos al sistema de transmisión de radio digital IBOC. Los datos de SIS proporcionan información general sobre la estación, incluida información técnica que es útil para aplicaciones no relacionadas con el programa. Además, estos datos proporcionan la información necesaria de control e identificación de la estación de radio e incluyen el número de identificación de la estación (basado en parte en el número de identificación de la instalación de la FCC, nombre de la estación, ubicación de la estación, categoría del programa (para programas principales y complementarios), información de referencia de hora y ubicación, y Radio Activa (utilizada para

alertas de emergencia). Este último campo permite a la emisora enviar un mensaje de texto arbitrario [53].

SIS puede considerarse un servicio incorporado que está disponible en todas las estaciones de radio digital IBOC. Para garantizar la compatibilidad con todos los receptores es necesario enviar los siguientes tipos de mensajes SIS [53]:

- ✓ ID = 0 - ID de estación
- ✓ ID = 4 - Ubicación de la estación
- ✓ ID = 6 - Mensaje de información de servicio
- ✓ ID = 7 - Mensaje de parámetro SIS
- ✓ ID = 1- Nombre de la estación corta (*Short Station Name*) ó ID = 8 - Nombre universal de la estación corta (*Universal Short Station Name*): es decir debe ser enviado uno de los dos ID. Tenga en cuenta que ambos tipos de mensajes no se pueden enviar como parte de mismo horario debe ser uno u otro. Además, si el sistema Alertas de Emergencias está activo, entonces el ID de mensaje 1001 también es obligatorio.

Es importante señalar tanto el termino Radio Activa como Alertas de Emergencia son similares en [53] y que para enviar las alertas se activa el ID 1001.

4.2.5 México y su transición a RDT

Desde el punto de vista regulatorio, a partir del año 2008 México ha ido construyendo el marco jurídico para apoyar el desarrollo de RDT. Algunos de los lineamientos publicados que apoyan esta política fueron:

- ✓ El 14 de mayo de 2008, se publicó en el DOF los “Lineamientos para la transición a la Radio Digital Terrestre (RDT), de las estaciones de radiodifusión sonora ubicadas dentro de la zona de 320 kilómetros de la frontera Norte de México”[57].
- ✓ El 17 de febrero de 2015, se publicó en el DOF los “Lineamientos Generales para el acceso a la Multiprogramación”[58].
- ✓ El 24 de noviembre de 2016, fue publicado en el DOF el “Acuerdo mediante el cual el Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones aprueba y emite los lineamientos mediante los cuales el Instituto Federal de Telecomunicaciones establece los criterios para el cambio de frecuencias de estaciones de Radiodifusión Sonora que operan en la banda de amplitud modulada a frecuencia modulada”[59].

Además, entre junio de 2016 y diciembre de 2017, se subastaron 191 frecuencias en la banda de FM y 66 en la banda de AM en la licitación IFT-4, con el propósito de incentivar la adopción de la RDT en México [50].

Los principales resultados de estas acciones y el estado actual de la penetración y perspectivas de la RDT en México se pueden encontrar en [50]. Entre los principales datos presentados en este documento se encuentra el hecho de que las estaciones de radio que transmiten en FM representan el 80% del total de estaciones y de ellas el 70% del total, se les da un uso comercial. En las Figuras 17 y 18 se pueden observar la cobertura de RDT tanto para FM como AM.



Figura 17. Cobertura RDT FM [48]



Figura 18. Cobertura RDT AM [48]

En cuanto a cobertura poblacional, las estaciones que transmiten en radio digital por FM cubren menos de la mitad de la población nacional, y las emisoras que transmiten en radio digital por AM cubren aproximadamente una quinta parte de la población.

En el mismo documento se analizó la disponibilidad de los receptores, tanto en el mercado de artículos electrónicos, como en el mercado automotriz. En México, se comercializan 429 modelos de automóviles pertenecientes a 46 marcas; de ellos solo 95 modelos de 19 marcas cuentan con un receptor de radio digital. Los precios para adquirir estos vehículos que cuentan con RDT y constituyen el 22% de los vehículos comercializados en el país, supera regularmente los 300 mil MXN. De los 15 modelos de automóviles de mayor comercialización en el país, solo 2 tienen receptores RDT. Se puede concluir por los datos anteriores que la oferta para comprar un vehículo con RDT no es amplia y su penetración es limitada en el mercado nacional [50].

Se plantea además que en lo relativo a la presencia de grabadoras, estéreos, sistemas de reproducción en casa y radios portátiles, en las cadenas de autoservicio, tiendas departamentales y tiendas especializadas, se encontró evidencia de su comercialización, solamente a través de plataformas en línea. En general es complejo para los usuarios acceder a receptores RDT.

En el documento que se utiliza como referencia ([50]), realizan un análisis de las audiencias de RDT dado que la publicidad es la principal fuente de ingreso de los radiodifusores. Sin embargo, tales datos también son de vital importancia para proponer un sistema de alerta de emergencia que se transmita por las emisoras de RDT, por lo cual los incluimos en este trabajo investigativo.

En este sentido, la encuesta realizada en los estados que cuentan con transmisiones de RDT demuestra que, la cobertura de las estaciones de RDT en FM es del 49% y en AM es del 20% de la población nacional, sin embargo, del total de encuestados el 86% declaró no conocerla. Además de los encuestados solo el 5% reveló escuchar RDT y de ellos solo el 4,3% lo hacía de manera regular. Por lo tanto, se pudo concluir la radio digital es utilizada por varios radiodifusores y que su señal llega a 54 millones de mexicanos, aunque la mayoría de los encuestados no conocen o identifican su existencia; probablemente por una limitada propaganda y la poca disponibilidad de receptores en las redes comerciales. Todo ello limita el nivel de audiencia de RDT en el país [50].

Esta situación plantea un futuro no tan favorable para la continuidad del desarrollo de RDT en México pues en la bibliografía consultada [50], los radiodifusores plantearon en mesas de trabajo que la situación actual, genera falta de incentivos para invertir en la transición a la RDT, y que la falta de existencias de receptores provoca una baja penetración de esta tecnología en el país, incidiendo directamente en la falta de incentivos económicos que retribuya los costos de la adopción de la misma por parte de los radiodifusores.

4.3 Estándar de Televisión Digital Terrestre ATSC 3.0

El estándar ATSC A/300 ó ATSC 3.0 es relativamente nuevo y cuenta con más de 10 estándares que abarcan varios aspectos del sistema como se puede observar en la [Figura 19](#) Entre sus principales objetivos se encuentran brindar una mejor calidad de audio y video, una mejor recepción, tanto para receptores móviles como fijos, así como lograr una mayor personalización, accesibilidad e interactividad, siendo más eficiente en el uso del espectro [60]. ATSC 3.0 intenta inculcar en el espectador nuevos comportamientos y preferencias a la hora de ver la televisión, facilitando contenido multimedia de la TV en una gran diversidad de dispositivos todo con el objetivo de enriquecer la experiencia de ver la televisión [60].

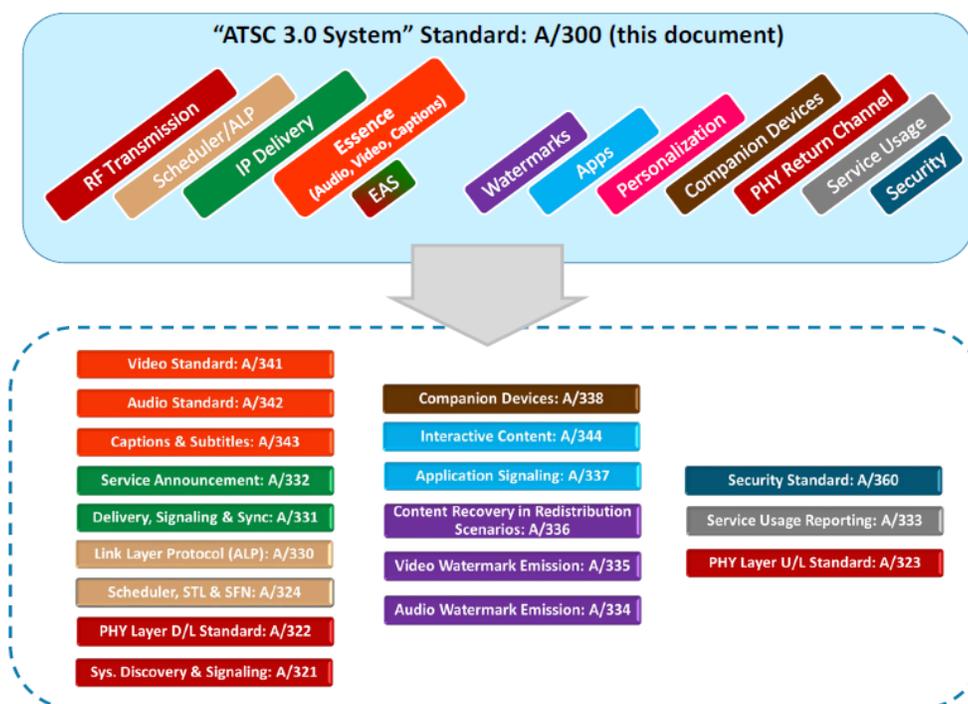


Figura 19. Conjunto de estándares de ATSC 3.0 [59]

El trabajo en el sistema ATSC 3.0 se ha sido dividido en tres capas funcionales: capa física, capa de administración y protocolos y capa de aplicación y presentación. En la [Figura 20](#) se puede observar esta arquitectura [61].

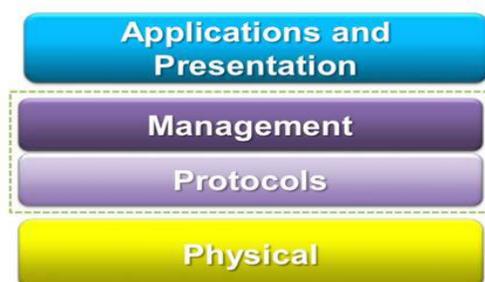


Figura 20. Arquitectura por capas ATSC 3.0 [59]

Algunas de las características de funcionamiento del estándar en la capa física son [60]:

- ✓ La capa física de ATSC 3.0 se desarrolló a partir de las bases de la modulación *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM).
- ✓ Cuenta con robustos códigos de corrección de error lineal *Low-Density Parity Check* (LDPC).
- ✓ Cuenta con soporte para tres modos de multiplexación para los *Physical Layer Pipes* (PLP): tiempo (TDM), frecuencia (FDM) y potencia (en dos niveles, LDM). Estos modos de multiplexación pueden ser combinados en estructuras como: *Single-Input Single-Output* (SISO) o *Multiple-Input Multiple Output* (MIMO).
- ✓ La capa física admite doce longitudes de intervalos de guarda diferentes (desde $\sim 27\mu\text{s}$ hasta $\sim 700\mu\text{s}$) y tres tamaños de transformada rápida de Fourier (FFT): 8k, 16k y 32k.
- ✓ ATSC 3.0 admite la decodificación de hasta 4 PLP por servicio, facilitando la separación de diferentes elementos (video, audio y metadatos) independientemente de la composición de robustez de cada uno. El máximo de los PLP en un canal (6, 7 y 8 MHz) es de 64 [60].
- ✓ El *bitrate* mínimo y máximo alcanzable en un canal de 6MHz son 1Mbps y 57Mbps.

La capa de administración y protocolos de ATSC 3.0 utiliza tanto para transmitir contenidos como para la entrega de archivos, el encapsulamiento del protocolo de Internet (IP) en vez de la encapsulación (TS) de MPEG-2, utilizada en el anterior estándar, permitiendo a la radiodifusión ser parte de Internet y estableciendo nuevos servicios y modelos de mercado [61].

La capa de aplicación y presentación de ATSC 3.0 comprende desde la codificación de audio y video hasta la accesibilidad. Este estándar dispone de la capacidad para ofrecer contenido 4k o ultra-alta definición (UHD por sus siglas en inglés) producto a los progresos actuales en codificación de video en HEVC/H.265. Los principales cambios en la calidad de video se aprecian fundamentalmente a nivel de píxel. Esta codificación admite la posibilidad de adicionar mejoras a la imagen, como es el caso de un mejor rango dinámico (HDR por sus siglas en inglés), mejor corrección de color (10 bits por píxel en vez de 8) y mayor número de fotogramas por segundo (HFR por sus siglas en inglés), alcanzando más de 120Hz [60].

Con respecto al audio, ATSC 3.0 brinda más prestaciones para el público, como es la oportunidad de personalizar los componentes del audio, como pueden ser los diversos modos los cuales pueden variar en dependencia del momento o el lugar. Estos modos serían *bed-mode* (si se está en un entorno relajado), *full-mode* (si se desea disfrutar de un concierto en casa), *Video Description Service* (VDS por sus siglas en inglés) para poder agregar comentarios en caso de que el espectador sea débil visual y la posibilidad de brindar el mismo contenido en varios idiomas, siendo distribuidos en un flujo separado del principal [60].

4.3.1 ATSC 3.0 y los sistemas de alertas

El estándar ATSC 3.0 presenta funciones con el potencial para mejorar las comunicaciones de emergencias [62]. Las funciones relacionadas con la mensajería de emergencia aparecen en varios documentos dentro del conjunto de estándares ATSC 3.0.

En el estándar A/331 se introduce el termino de Alerta de Emergencia Avanzada (AEA por sus siglas en inglés). AEA proporciona un mecanismo de notificación de emergencia en ATSC 3.0, que es capaz de reenviar una amplia gama de datos de emergencia, que puede incluir boletines urgentes, avisos, todas las alertas de peligro, mensajes relacionados con emergencias y otra información urgente a través de un sistema ATSC 3.0. La Tabla de Alerta de Emergencia Avanzada (AEAT por sus siglas

en inglés), está compuesta por varios mensajes AEA y es un tipo de información de los servicios de bajo nivel (LLS) [40].

Los tipos de mensajes que pueden ser entregados con ATSC 3.0 son los siguientes [63]:

- ✓ Bits de encendido de alertas: Permite que un receptor que sea capaz de soportar la función de activación (*Wake-up*) y no esté decodificando activamente ni mostrando imágenes, pero si sensando una señal de RF, monitoree los bits de encendido de la señal de arranque (*bootstrap*) de la capa física de ATSC 3.0 (*ea_wake_up_1* y *ea_wake_up_2*). Si los bits de encendido de la señal *bootstrap* muestran una emergencia nueva o actualizada situación en la que al menos unos de los dos es 1 (01,10,11), entonces el receptor puede encenderse y procesar la información de señalización de emergencia, incluso comenzar a proporcionar imágenes y / o sonido al espectador.
- ✓ Mensajes del SAE: normalmente se transmiten como “grabados” en el audio y video de un servicio. Las estaciones de TV pueden recibir estos mensajes como mensajes de difusión que consisten en tonos y audios FSK (*Frequency Shift Keyed*), o como mensajes del Protocolo de Alerta Común (CAP).
- ✓ Mensajes de información de emergencia pública iniciada por los radiodifusores: información urgente que las estaciones desean entregar a receptores de TV que son independientes o complementarios a un mensaje de alerta.
- ✓ Aplicación de Alerta de Emergencia (EAA, por sus siglas en inglés) (A/334): una aplicación de transmisión que cumple con el estándar de contenido interactivo ATSC 3.0, A / 344, que puede proporcionar información relacionada con la alerta.
- ✓ Archivos multimedia: archivos de contenido que proporcionan información adicional sobre una emergencia.
- ✓ Programación relacionada con emergencias: programación como cobertura de noticias locales que proporciona a los espectadores información sobre la emergencia en curso.

Adicionalmente AEA de ATSC 3.0 ofrece un cúmulo de capacidades que pueden ser ofrecidas por los concesionarios de televisión a dispositivos de consumo fijos, móviles y portátiles, entre las que se incluyen [62]:

- ✓ Mensajes de alertas restringidos a grupos específicos, como socorristas u otras organizaciones.
- ✓ Mensajes orientados por ubicación geográfica, lo que permitirá a los receptores compatibles monitorear alertas que pueden dirigirse a códigos geográficos, polígonos o círculos específicos, lo que significa que una alerta puede ser dirigida tan ampliamente como el área de transmisión completa, o tan estrechamente como los receptores en un conjunto muy específico de coordenadas.
- ✓ Capacidades multimedia, que permiten que los receptores habilitados para ATSC 3.0 reciban y muestren gráficos, fotos, mapas, videos y otros activos como parte de la información de emergencia.
- ✓ Funciones de actualización y cancelación de alertas;
- ✓ Configuraciones de prioridad de alerta;
- ✓ Soporte multilingüe, brindando la posibilidad de que los televidentes seleccionen el idioma de su elección para recibir información de emergencia.

Como parte del esfuerzo para hacer realidad las capacidades de ATSC 3.0, algunos fabricantes de equipos transmisores han avanzado en la implementación e integración de las funcionalidades de

ATSC 3.0 en sus conjuntos de productos para estaciones de televisión. Las pruebas por aire de la transmisión ATSC 3.0 con alertas de emergencia se han llevado a cabo desde 2016 en Estados Unidos.

Es importante destacar que algunas estaciones de televisión ya tienen en sus instalaciones equipos de alertas los cuales pueden actualizarse para soportar ATSC 3.0; facilitando la migración para estas emisoras, a las capacidades de alerta de emergencia de ATSC 3.0. [62].

4.4 Redes Móviles 5G

La tecnología 5G (IMT-2020) integra la nueva generación de normas móviles que está definiendo la UIT[64]. Esta tecnología en su conjunto brinda capacidades superiores a las ofrecidas por los sistemas anteriores: IMT-2000 (3G) e IMT-Avanzadas (4G) (Figura 21).

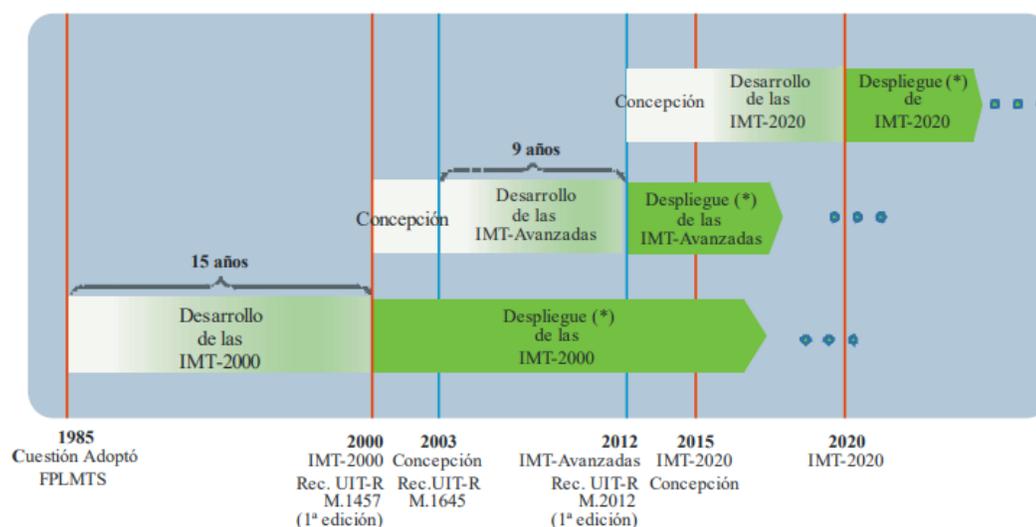


Figura 21. Cronología del desarrollo y despliegue de las IMT [63]

La 5G promete una nueva etapa de en el desarrollo de las redes móviles, brindando nuevas aplicaciones, servicios con mayores velocidades (orden de los Gbits), y mejorando de manera significativa la experiencia del usuario final, aumentando la calidad de funcionamiento y la fiabilidad [65]. Esta tecnología parte de los logros alcanzados por las redes móviles 2G, 3G y 4G, las cuales han reconfigurado las sociedades actuales, a través de novedosos servicios y modelos de comercio. La 5G proporciona a los operadores de redes celulares la oportunidad de extenderse más allá de la prestación de servicios de conectividad y el desarrollo de soluciones y servicios útiles para los usuarios y la industria en una gran escala de sectores y a un precio accesible. En ese sentido, proporciona la oportunidad de implementar redes alámbricas e inalámbricas convergentes y, más específicamente, de integrar sistemas de gestión de redes.

En el documento base de la Secretaria de Gobernación y Transporte de mayo del 2019: “Transición a 5G. ¿Estamos preparados?” se pueden encontrar algunas especificaciones de esta tecnología que habrán de satisfacer los sectores público y privado a medida que se preparan para la implementación de 5G [66]:

- ✓ Velocidad binaria máxima que alcance los 10 Gbit/s. Para los casos de cobertura de áreas extensas (zonas urbanas y suburbanas), se prevé que los usuarios tengan acceso a una

velocidad binaria de 100 Mbit/s. La velocidad en interiores, se espera que alcance valores superiores (alrededor de 1 Gb/s).

- ✓ El consumo de energía, aunque se ofrezcan mayores prestaciones, no debe ser superior al de las redes IMT actuales.
- ✓ Debe soportar servicios con muy baja latencia (latencia radioeléctrica de 1 ms) y se espera que las IMT-2020 permitan una movilidad de hasta 500 km/h.
- ✓ La tecnología *LTE Advanced Pro* es fundamental para la red 5G, por lo que es necesario continuar invirtiendo en el mejoramiento de la disponibilidad y la calidad de las redes 4G existentes.
- ✓ La instalación de redes 5G requerirá un ancho de banda espectral superior para satisfacer requisitos de velocidad y capacidad.

Inicialmente la implementación de las redes 5G comerciales se iniciaron en el 2020. En el lustro 2020-2025, la Asociación GSM (GSMA) predice que las conexiones 5G alcanzarán los 1100 millones, lo que equivaldría al 12% aproximadamente de las conexiones móviles a nivel mundial. Además como se mencionó anteriormente la 5G reducirá significativamente la latencia (menos de 1ms), lo que es un factor de gran importancia para servicios de datos sensibles al tiempo, como son las alertas de emergencias [64].

4.4.1 Arquitectura redes 5G

La tecnología 5G es una tecnología emergente. Como tal, aún está en proceso de normalización [64], sin embargo, ya han sido publicadas por la asociación 3GPP algunas especificaciones y reportes técnicos (como 3GPP TS 29.518 [67] y 3GPP TR 21.915 [68] respectivamente) donde se sientan las bases subyacentes de los despliegues 5G comerciales.

Las redes 5G están diseñadas para soportar diversos servicios con diferentes perfiles de tráfico de datos (por ejemplo, alto rendimiento, baja latencia y conexiones masivas) y modelos (por ejemplo, tráfico de datos IP, tráfico de datos sin IP, ráfagas cortas de datos y transmisiones de datos de alto rendimiento) [68].

La característica principal del 5G es la introducción de una nueva interfaz de radio, la Nueva Radio (NR, *New Radio*), que ofrece la flexibilidad necesaria para soportar estos tipos muy diferentes de servicios. Otra característica clave de 5G es que la red de acceso 5G puede conectarse no solo a una nueva red central 5G sino también a la red central 4G (LTE). Esto se conoce como la arquitectura "*Non-Stand Alone*" (NSA).

En la arquitectura NSA la red de acceso de radio 5G AN (AN, *Access Network*) y su nueva interfaz de radio (NR) se utilizan junto con la red central de infraestructura existente LTE y EPC (*Evolved Packet Core*), haciendo que la tecnología NR esté disponible sin necesidad de reemplazar la red. En esta configuración, solo se admiten los servicios 4G, pero disfrutan de las capacidades que ofrece la nueva radio 5G (latencia más baja, etc.). La NSA también se conoce como "*E-UTRA-NR Dual Connectivity* (EN-DC)" o "*Architecture Option 3*" [68].

La arquitectura de la NSA puede verse como un paso temporal hacia la implementación "completa de 5G", donde la red de acceso 5G está conectada a la red central 4G. En la arquitectura NSA, la estación base NR (5G) (nodo lógico "en-gNB") se conecta a la estación base LTE (4G) (nodo lógico "eNB") a través de la interfaz X2 (Figura 22). La interfaz X2 se introdujo antes de la versión 15 (se refiere al documento [68]), para conectar dos eNB. En la versión 15, también admite la conexión de un eNB y en-gNB para proporcionar NSA. La NSA ofrece conectividad dual, tanto a través de 4G

AN (E-UTRA) como de 5G AN (NR). En EN-DC, el eNB de 4G es el nodo maestro (MN, *Master Node*) mientras que el en-gNB de 5G es el nodo secundario (SN, *Secondary Node*).

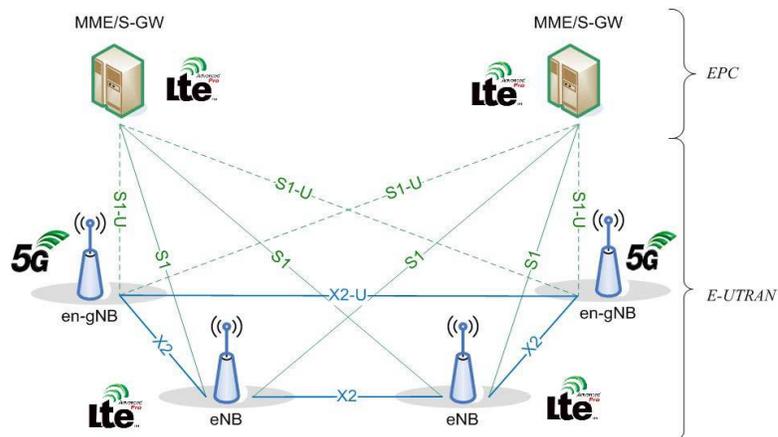


Figura 22. Arquitectura NSA [66]

Cuando se realiza el “despliegue completo de 5G”, la arquitectura recibe el nombre de *Stand Alone* (SA) la cual no necesita ninguna parte de una red 4G para operar. La estación base NR (nodo lógico "gNB") se conecta entre sí a través de la interfaz Xn, y la red de acceso llamada "arquitectura NG-RAN (NG Radio Access Network) para SA" se conecta a la red 5GC (5G Core) utilizando la interfaz NG (Figura 23). La interfaz NG es la equivalente en redes 5G de la interfaz S1 en redes 4G [68].

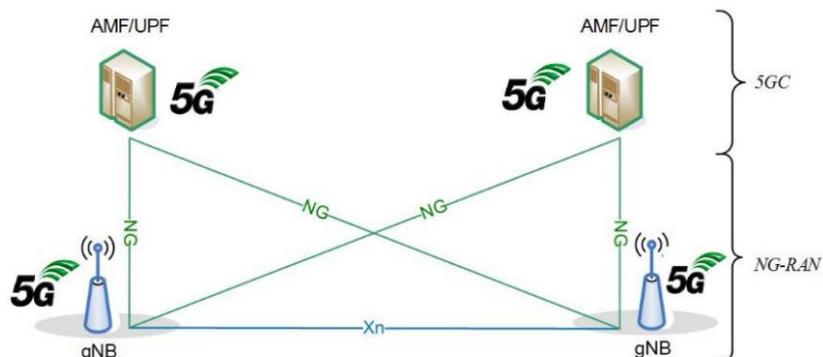


Figura 23. Arquitectura SA [66]

4.4.2 Consideraciones para las políticas regulatorias de redes 5G en situaciones de emergencia

A medida que el mundo avanza hacia la era 5G, se están considerando importantes requisitos reglamentarios que afectarán el diseño y la implementación de estas redes. Uno de los requisitos reglamentarios se refiere principalmente a la necesidad de redes 5G para soportar servicios de emergencia y gubernamentales existentes, tales como [69]:

- ✓ Uso de SMS en situaciones de emergencia.
- ✓ Comunicaciones multimedia de emergencia (por ejemplo, *Next Gen 911*)

- ✓ Integración de dispositivos más pequeños, como Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés), en escenarios de emergencia
- ✓ Alertas de emergencia inalámbricas (WEA), que incluyen un mayor tamaño de mensajes de texto y soporte para múltiples idiomas.
- ✓ Sistemas de alerta temprana de terremotos (EEWS).
- ✓ Seguridad pública y socorristas.
- ✓ Apoyo a personas con discapacidades (por ejemplo, servicio de texto en tiempo real), incluyendo problemas de audición, vista y movilidad.
- ✓ Vigilancia legal.

Además de los servicios gubernamentales y de emergencia existentes, se espera que los sistemas 5G brinden la capacidad de ofrecer nuevos servicios públicos. Probablemente una de las más importantes será la comunicación de vehículo a vehículo que puede hacer que las carreteras y viajes sean más seguros.

Las principales consideraciones para políticas regulatorias, procedentes de nuestro continente, fueron encontradas en un informe de 5G Américas. 5G Américas es una organización comercial de la industria compuesta por proveedores y fabricantes líderes de servicios de telecomunicaciones. La misión de la organización es defender y fomentar el avance y las capacidades completas de las tecnologías inalámbricas LTE y su evolución a 5G, a través de las redes, servicios, aplicaciones y dispositivos conectados del ecosistema en las Américas. Esta organización tiene sede en Washington, Estados Unidos, por lo que se refiere a los principales sistemas de alertas de emergencia de este país.

4.4.3 Caso de Estudio: *Wireless Emergency Alert (WEA)* y redes 5G

Las Alertas de Emergencia Inalámbricas (WEA por sus siglas en inglés) se llamaron originalmente Sistema de Alerta Móvil Comercial (CMAS). En febrero de 2013, la FCC renombró el CMAS a WEA, en consecuencia, algunas de las normas y otra documentación que se desarrolló antes de febrero de 2013 aún conservan la terminología CMAS.

5G debe cumplir con todos los requisitos reglamentarios de WEA, que se especifican en el Código de Regulaciones Federales de la FCC, Alertas de Emergencia Inalámbricas [69]. Estos requisitos son:

- ✓ Preservación de mensajes de alerta en dispositivos móviles: Se propone que los dispositivos móviles con capacidad WEA deben conservar los mensajes de alerta en un formato y ubicación de fácil acceso hasta que caduquen. Si la FCC adopta esta regulación propuesta, se anticipa que esta regulación probablemente se aplicaría a dispositivos móviles 5G y algunos pre-5G.
- ✓ Priorización de alerta de terremoto: Se propone exigir a los proveedores de mensajes participantes que entreguen mensajes de alerta relacionados con terremotos al público en menos de 3 segundos, medidos desde el momento en que se crea un mensaje relacionado con terremotos hasta que se entrega y se muestra en el dispositivo móvil. Esta regulación puede cambiar el orden de priorización de la transmisión de mensajes WEA.
- ✓ WEA como herramienta de mensajería secundaria para administradores de emergencias durante los esfuerzos de socorro en casos de desastre: La FCC está considerando la posibilidad de que WEA sirva como una herramienta de mensajería secundaria para los administradores de emergencias, específicamente durante los esfuerzos de ayuda en caso de desastres. La FCC está considerando esta mejora para respaldar la comunicación interpersonal para facilitar los esfuerzos de planificación de respuesta de los administradores de emergencias y para que WEA interactúe con otras fuentes de información oficiales.

- ✓ Las implicaciones para las redes 5G si la FCC adopta regulaciones para WEA como una mejora de la herramienta de mensajería secundaria es que las comunicaciones relacionadas con WEA se convierten en comunicaciones uno a muchos para la transmisión de mensajes WEA y comunicaciones uno a uno para todos los dispositivos en el área de alerta para responder con información.
- ✓ Alertas multimedia de WEA: La FCC propone que los mensajes WEA también puedan contener información multimedia para acompañar el mensaje de alerta de texto. Específicamente se propone que las agencias de gestión de emergencias puedan usar mensajes de seguridad pública transmitir imágenes en miniatura de las rutas de evacuación en relación con alertas de amenazas inminentes, una imagen de la cara de un niño desaparecido después de una alerta AMBER o instrucciones específicas para la acción de protección a través de símbolos de peligro. Si se adopta, las redes 5G tendrían que admitir mensajes WEA más grandes que el máximo de 360 caracteres y admitir tipos de medios que no sean solo caracteres de texto.

4.4.4 Redes 5G y CBS

En el capítulo 3 se introdujo el tema de CBS y se comentó las bondades de dicha tecnología para la implementación de sistemas de alertas de emergencia en redes móviles. En las redes GSM (2G), UMTS (3G) y LTE (4G) la utilización de CBS está bien documentada en el documento 3GPP TS 23.041 versión 14.1.0 Release 14. Una de las interrogantes de esta investigación, era si CBS sobreviviría a 5G, dado que la bibliografía sobre el tema no es muy extensa. En los documentos revisados [67] se hace referencia a el Sistema de Alerta Pública en 5G (PWS por sus siglas en inglés). El PWS se admite mediante el uso de interfaces basadas en servicios entre la función *Cell Broadcast Center* (CBCF) y el AMF (*Access and Mobyly Management Function*), o mediante el uso de una función de interfuncionamiento entre el CBC y el AMF (Figura 24).

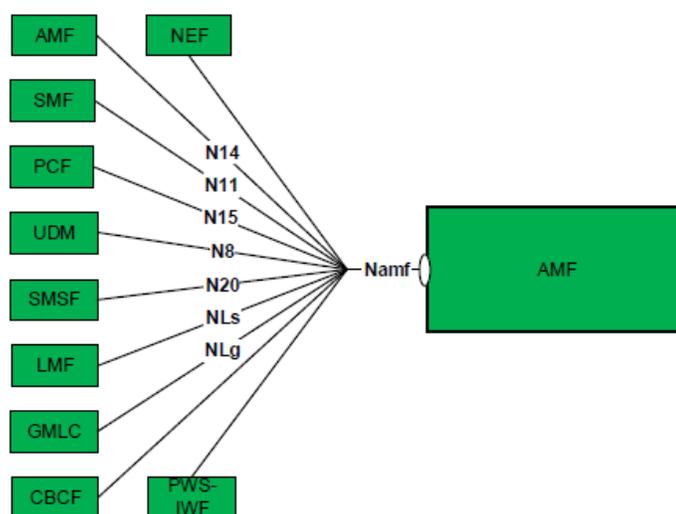


Figura 24. Modelo de Referencia AMF [65]

A través de la interfaz NG (Figura19), la tecnología 5G permite el acceso a la función de transmisión de mensajes de emergencia, proporciona medios para transferir mensajes de advertencia a través de dicha interfaz o cancelar la transmisión continua de mensajes de advertencia. También

proporciona la capacidad para que la NG-RAN informe a la AMF que la operación PWS en curso ha fallado en una o más áreas, o que el CBC puede ser utilizado nuevamente en una o más áreas. Esta función forma parte del protocolo NGAP (*NG Application Protocol*) [68].

4.4.5 México y su transición a la tecnología 5G

La adopción de la 5G en México es inmediata y servirá para introducir esta tecnología en América Latina. Según *GSMA Intelligence 9* [66], no será hasta 2025 cuando en México la población pueda ver un resultado cercano al 14% en su adopción, con 18 millones de conexiones para 2025. A México lo seguirá Brasil y Perú; el primero con una adopción del 11% para un total de 26 millones de conexiones y Perú con una adopción del 10% lo que equivaldría a 4 millones de conexiones [66].

Dos hechos pueden apuntalar la preparación de México para la implementación de las redes 5G. [66]:

- ✓ México se considera dentro de los países precursores de América Latina en la planeación de 5G. Entre las actividades realizadas se encuentran la limpieza de la banda de 600MHz en 2018, con la intención de colocarla a disposición para los servicios de 5G en el 2019. También subastó la banda de 2.6 GHz en un alto de elecciones mostrando una autoridad independiente de los ciclos políticos.
- ✓ Los operadores móviles continúan efectuando importantes inversiones en actualizaciones de redes LTE-A.

No obstante, es importante considerar las necesidades de inversión en infraestructura de telecomunicaciones que deben hacer los operadores móviles para satisfacer la demanda de banda ancha. El CAF-Banco de Desarrollo de América Latina señala que éstos deberían poder desplegar 40 mil estaciones base adicionales para cubrir la demanda de los usuarios de conectividad en 2020, representando inversiones 12,800 millones de USD entre 2016 y 2020 [66].

5 Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México

Los Estados Unidos Mexicanos cuentan con una extensión territorial de 1, 964, 375 km² y se encuentran divididos en 32 entidades federativas, que a su vez están compuestas por 2457 municipios [70]. En el norte limita con los Estados Unidos de América, al sur tiene fronteras con Guatemala y Belice, y al este y oeste se encuentra rodeado por el Océano Pacífico y el Océano Atlántico respectivamente. Por su ubicación geográfica y su gran extensión territorial, el país está expuesto a fenómenos naturales tales como sismos, inundaciones, lluvias intensas, ciclones tropicales, erupciones volcánicas, heladas, sequías, deslizamiento de laderas, etc. Por otro lado debido a las características socioeconómicas del país, pueden ocurrir otros fenómenos destructivos de carácter químico-tecnológico, sanitarios, ecológicos y que afecten directamente la seguridad nacional.

En el capítulo 2 se hizo referencia a una serie de instituciones y sistemas de monitoreo públicos, semipúblicos y privados para la detección de catástrofes y emisión de alertas. En el propio capítulo se llegó a varias conclusiones, siendo una de ellas, que no se contaba con un sistema de alerta de emergencia nacional que integre todas las alertas posibles. En este capítulo, se realiza la propuesta de un sistema de alerta de emergencia integral para México.

5.1 Características del Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México

En la propuesta de este sistema se parte de las experiencias de sistemas de alertas en diferentes países del mundo que han funcionado con éxito (epígrafe 3.6 y 3.7), de trabajos previos citados como parte de la bibliografía de esta investigación y del sentido común y la expectativa de su autor.

De manera general se desea que el sistema propuesto aglutine en una institución específica, la recepción de todas estas alertas y emita a las diferentes concesionarios y autorizados del servicio de radiodifusión y redes celulares dichas alertas, para que las transmitan de forma clara e inmediata, a toda la población dentro de la zona geográfica afectada.

De manera más específica se plantea que el sistema tenga las siguientes características:

- ✓ Un organismo público debe poder aglutinar todas las alertas provenientes de los diferentes organismos e instituciones de monitoreo, garantizando así una fuente común para estas alertas y garantizando la confiabilidad de las mismas.
- ✓ Utiliza el protocolo CAP: Para que las alertas se transmitan de manera uniforme se propone la utilización del protocolo CAP, el cual como se explicó anteriormente, es un estándar abierto que define un formato general (XML) para la transmisión de diferentes alertas entre diferentes medios de comunicación. Además, al ser un estándar utilizado internacionalmente, facilita el intercambio de información de alertas entre diferentes instituciones internacionales (ejemplo NOAA de Estados Unidos), así como la integración de equipos de transmisión de diferente procedencia que también permitan la utilización de este protocolo.

- ✓ Ubicación Geográfica: Dado que México es un país de gran extensión geográfica, las amenazas normalmente están localizadas. Para evitar pánico innecesario, las alertas deben poder transmitirse solo dentro del área geográfica afectada por una posible catástrofe. Esto no invalida que ante un fenómeno que afecte a todo el país (como pueden ser alertas presidenciales para preservar la seguridad nacional), la alerta se transmita a toda la nación.
- ✓ Transmisión Prioritaria: Debe cumplir con Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión en su artículo 190, fracción XI, donde establece que los Concesionarios y autorizados de servicios de telecomunicaciones, deben: “*En los términos que defina el Instituto en coordinación con las instituciones y autoridades competentes, dar prioridad a las comunicaciones con relación a situaciones de emergencia*” [71].
- ✓ Recepción Obligatoria: el sistema debe garantizar que el usuario final siempre reciba la alerta, mientras su equipo de recepción este encendido o en *standby*. En este último caso, siempre que la tecnología utilizada lo permita.
- ✓ Transmisión automática de alertas: Deben existir alertas que se transmitan de forma automática y otras que necesiten de la participación humana. Esto dependerá sobre todo del tipo de fenómeno que origina la alerta. Un ejemplo claro es que en el caso de sismos no se puede esperar de la intervención humana para transmitir la alerta, si se espera que ésta sea efectiva.
- ✓ Diferentes niveles de prioridad: Las alertas deben tener diferentes niveles de prioridad, en dependencia entre otros factores del tipo de fenómeno o situación de emergencia que genere la alerta y el tiempo de reacción que se tenga ante la inminencia de la misma. Ante un fenómeno como un sismo la alerta debe tener máxima prioridad, por lo que cualquier transmisión tanto de audio, de video, datos, llamadas de voz, etc. debe ser detenida para transmitir la alerta. Si el fenómeno fuera un ciclón tropical u otro donde el tiempo de reacción no es crítico, las alertas se transmitirán como parte de la programación de las radiodifusoras o como mensajes de texto en caso de las redes celulares.
- ✓ Cobertura nacional: El sistema debe garantizar que las alertas lleguen a todo el país, incluso aquellas localidades que no cuenten con servicio de radiodifusión y señales celulares.
- ✓ Difusión a través de diferentes medios: Para la difusión de alertas se utilizarán las redes móviles, redes de radiodifusión y sistemas satelitales.
- ✓ Diferentes niveles acceso a la información: El sistema debe garantizar diferentes niveles de acceso a la información de las alertas, es decir deben existir alertas públicas y alertas restringidas a cierto grupo poblacional que por las actividades que realizan, deben y pueden influir en minimizar los daños ante la ocurrencia de una catástrofe.
- ✓ Transmisión de audios y videos: el sistema debe ser capaz de transmitir señales de audio y video en la generación de la alerta. En caso de que la tecnología actual utilizada no permita la transmisión de video, se debe tener en cuenta en el diseño la evolución de dichas tecnologías.
- ✓ El sistema utilizará para la transmisión de alertas en redes celulares el sistema CBS y tendrá en cuenta posible migración a tecnología 5G.
- ✓ El sistema utilizará para la transmisión de alertas sobre televisión digital el estándar ATSC 1.0, y tendrá en cuenta posible migración a ATSC 3.0.
- ✓ El sistema utilizará para la transmisión de alertas sobre radio analógico el sistema RDS y para radio digital el estándar IBOC.
- ✓ La recepción de las alertas será a través de radios (tanto analógicos como digitales), televisores (digitales) y teléfonos celulares inteligentes compatibles con el sistema CBS.
- ✓ Encendido automático de receptores: El sistema debe garantizar, donde la tecnología actual o futura utilizada en el país lo permita, que cualquier equipo receptor que se encuentre en *standby*, despierte cuando detecte la recepción de una alerta de emergencia. Aquí juega un papel importante el nivel de prioridad de las alertas.

Una vez definidas las principales características del sistema que se propone, a continuación, se describirá los principios generales de funcionamiento del mismo.

5.2 Propuesta SAE Integral México.

El SAE Integral comenzaría por los sistemas de monitoreos y emisión de alertas, que serían aquellas instituciones como por el ejemplo el SSN, el SASMEX, el SMN, que están constantemente monitoreando la ocurrencia de fenómenos naturales. Estas instituciones detectarían el fenómeno y enviarían la alerta a un organismo público el cual sería el encargado de validar la autenticidad de la alerta, delimitar el área geográfica donde se transmitirá la misma y luego transmitir las a todos los concesionarios de los servicios de radiodifusión, redes móviles y servicios satelitales, utilizando el protocolo de alerta común CAP. Estos concesionarios y autorizados que formen parte del SAE deben crear la infraestructura para acceder de manera eficiente y segura a las alertas y para difundirlas de la misma manera.

En la [Figura 25](#) se puede observar un diagrama general del funcionamiento del sistema de alerta de emergencia propuesto.

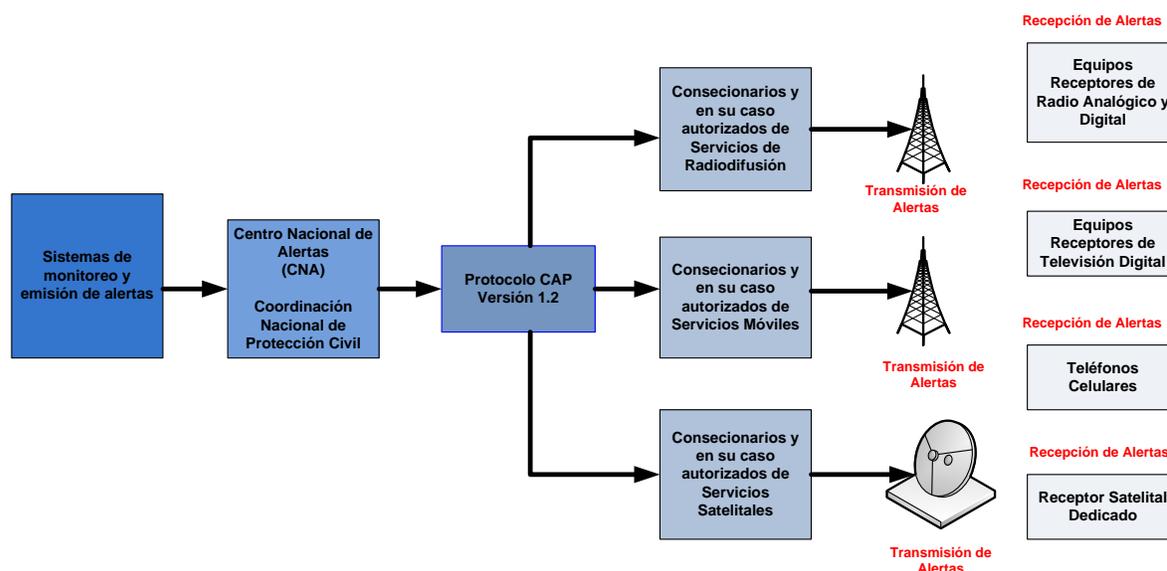


Figura 25. Diagrama General Propuesta de SAE Integral para México

Desglosando la descripción general dada anteriormente del SAE Integral, se puede decir que las alertas deben recepcionarse en el organismo público, transmitirse a los concesionarios y autorizados de los servicios de radiodifusión, redes celulares y servicios satelitales y difundirse a todo grupo de personas o comunidad donde sea necesario transmitirlas. El esquema de recepción, transmisión y difusión de las alertas se explica a continuación:

1. Centro Nacional de Alertas (CNA): Este sería el organismo gubernamental que valide las alertas y garantice que las mismas tengan un origen confiable, e incluso que exista una plataforma donde la población pueda consultar un historial de alertas. El Centro Nacional de Alertas, estará ubicado preferentemente en la Coordinación Nacional de Protección Civil, la cual garantizará que las fuentes conectadas al colector sean fidedignas y que las alertas que se generen en el mismo estén en correspondencia con los objetivos del

SINAPROC (epígrafe 2.1). Los principales sistemas y agencias de monitoreo en México serán las responsables de transmitir dichas alertas en los formatos que normalmente utilizan y con cualquier información adicional (audio, video, imágenes) que sirva para apoyar la solución de la situación de emergencia.

El CNA estará compuesto por un servidor o grupos de servidores donde se recolecten las alertas de los diferentes sistemas de alertas. Este centro de alertas debe contar con servidores de *backup* (denominado en algunas bibliografías [49] Centro de Alerta Secundario), el cual no debe estar en la misma ubicación física que el CNA, para que en caso de fallo estructural del inmueble, de seguridad o de conectividad no se vean afectados ambos centros. Debe contar además con respaldo energético, salvadas de seguridad, y estar debidamente protegidos con diferentes niveles de acceso para que solo personal autorizado pueda acceder a las alertas que se reciben para su posterior transmisión.

En el país existen empresas privadas con servicios dedicados para la transmisión de alertas (como es el caso del SASMEX). Estos sistemas, a pesar de su limitante geográfica, tienen sus propios sistemas de monitoreo y han demostrado ser efectivos transmitiendo alertas por sus propios medios dedicados. Asumiendo que poner en funcionamiento la propuesta que aquí se expone será un proceso complejo y tratando de no dejar vulnerable a la población modificando un sistema que funciona, en lo que se crea un sistema de alerta de emergencia integral, se han dejado fuera de esta propuesta estos sistemas privados. Se recomienda para futuros trabajos la adición de los mismos a un sistema nacional de alertas.

Otro factor a tener en cuenta en el CNA es que aquí es donde se decide qué alertas serán transmitidas de manera automática y cuales pueden contar con el concurso humano. Un ejemplo claro son las alertas sísmicas, las cuales, por el corto tiempo de reacción, deben transmitirse de forma inmediata.

Se aclara además que esta fuera del alcance de esta propuesta, la detección de los fenómenos que den origen a estas alertas, esta última tarea debe estar a cargo del personal especializado de los organismos de monitoreo. Es decir, continuará siendo responsabilidad de los diferentes agencias y sistemas de monitoreo y emisión de alertas del país, generar las mismas y transmitir las al CNA.

2. Transmisión de las alertas: Una vez que se reciben las alertas en el CNA estas serán convertidas a mensajes en formato CAP (documentos con esquema XML) y serán transmitidas a los autorizados y concesionarios de servicios móviles, servicios de radiodifusión y servicios satelitales que transmitan señales de telecomunicaciones dentro del área geográfica afectada. Para la transmisión de los mensajes CAP debe existir una línea de comunicación dedicada entre el CNA y los autorizados y concesionarios de servicios de telecomunicaciones en México.

Es importante aclarar que en esta propuesta se tuvo en cuenta que México cuenta con 2457 municipios y que cada uno de ellos posee su propio Consejo Municipal de Protección Civil. Lo mismo pasa con sus 32 estados y los Consejos Estatales de Protección Civil. Se cuenta además con un Atlas Nacional de Riesgo y Mapa de Riesgos, los cuales, como se explicó en el capítulo 2, permiten evaluar la probabilidad de ocurrencia de un desastre a escala nacional, regional, estatal y municipal. Por la capacidad de cada territorio de evaluar sus emergencias, se pensó en proponer la existencia de Centros Estatales de

Alertas conectados al Centro Nacional de Alertas, para cada que uno de ellos enviara sus propias alertas a su territorio. Esta opción se desechó dado que en su mayoría los sistemas de monitoreo y emisión de alertas conectados al CNA serán nacionales por lo cuentan con la información inmediata de que ocurre en cada territorio. Además, al transmitir los mensajes basándose en el protocolo CAP, el mismo garantiza que la transmisión de alertas pueda ser acotada geográficamente.

3. Difusión de las Alertas: Las estadísticas han mostrado que el 99,06 % de la población mexicana tiene cobertura de redes móviles y/o servicios de radiodifusión [72], por lo que las alertas se transmitirán por estos medios de comunicación para garantizar la difusión efectiva de las alertas.

Otro factor importante es la capacidad de los equipos terminales de recibir alertas a través de ciertos estándares vigentes y en desarrollo, por lo que se ha investigado la posible evolución de los sistemas de alertas y su migración a tecnologías con los estándares IBOC, ATSC 3.0 y 5G.

4. Difusión de alertas por redes satelitales: Una de las necesidades del sistema de alerta propuesto, es que este abarque toda la población. Según los datos estadísticos estudiados aproximadamente el 0,94% [72] vive en zonas sin cobertura para redes móviles y de radiodifusión, sin embargo, estas zonas se tiene cobertura de señales satelitales. Esa es la razón por la que se propone un sistema de emergencia satelital para estos lugares.

En los siguientes epígrafes se explicarán cada uno de los elementos de la propuesta del SAE Integral para México.

5.3 Implementación del Protocolo CAP

La utilización del protocolo CAP por parte del CNA, para la emisión de mensajes de alerta a los autorizados y concesionarios de servicios de telecomunicaciones para su posterior difusión permite, por las características intrínsecas del mismo (epígrafe 3.2), el cumplimiento de los siguientes puntos del Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México:

- ✓ Ubicación geográfica
- ✓ Transmisión automática de alertas
- ✓ Diferentes niveles de prioridad
- ✓ Difusión a diferentes medios
- ✓ Diferentes niveles de acceso a la información

Para la transmisión de alertas utilizando el protocolo CAP, el CNA debe ser considerado una Autoridad de Alerta, las cuales tienen como objetivo [73]:

- ✓ Crear alertas en formato CAP para cualquier tipo de amenaza.
- ✓ Transmitir alertas en formato CAP a la población a través de varios medios de entrega.
- ✓ Compartir información de alertas en formato CAP con otras organizaciones, como otras agencias gubernamentales (dentro y entre naciones), organizaciones no gubernamentales (ONG) como policía, bomberos, servicios médicos, de salud, servicios sociales, Cruz Roja, Media Luna Roja, agua, obras públicas, autoridad aeroportuaria, energía y telecomunicaciones, así como otras entidades del sector privado.

En la implementación del protocolo CAP, la Autoridad de Alerta, en este caso el CNA en dependencia del nivel de conocimiento que posea el personal encargado de la actividad de generación de alertas a través de este protocolo, puede seguir los siguientes puntos [73]:

- ✓ Aprender algunos conceptos básicos sobre protocolo CAP: Es necesario que el personal vinculado al CNA este en un proceso continuo de capacitación sobre protocolo CAP, softwares gratuitos para generar alertas CAP y aplicaciones web para monitorear fuentes CAP como alertas meteorológicas y de terremotos. Para ello se deben identificar los productos y servicios de educación relevantes para alertas habilitadas por CAP. Algunos de estos productos y servicios se pueden encontrar en línea a bajo costo o de forma gratuita, incluida la bibliografía utilizada en esta investigación.
- ✓ Usar fuentes existentes de alertas en formato CAP: En la creación del CNA por su carácter gubernamental se debe tener en cuenta la posible participación de otros gobiernos, autoridades de alertas de la región, ONGs y agencias de ayuda internacional. Muchos de estos participantes le pueden proporcionar al CNA varias fuentes de información de alerta que ya están disponibles y publicadas a través de fuentes de noticias CAP, o que podrían estar fácilmente disponibles como fuentes CAP como son las alertas de huracanes y tsunamis del NOAA y el PTWC de los EE. UU, y el Sistema de Información de la Organización Meteorológica Mundial (WIS por sus siglas en inglés).
- ✓ Considerar las herramientas para convertir entradas de información en alertas con formato CAP: la información de alertas brindadas por las agencias de monitoreo y emisión de alertas tanto nacionales como internacionales que nos están ya asociados al protocolo CAP, pueden llegar en diferentes formatos (datos en bruto, texto, audio, mapas, imágenes, video, etc.). Para optimizar el proceso de alertas se debe utilizar mecanismos que transforman la mayor cantidad de esta información en formato CAP. Las herramientas de conversión de CAP ya están accesibles y otras se pueden construir a medida que sea necesario.

Una de las herramientas recomendadas en la bibliografía consultada [73] son las de interfaz, las cuales, bajo el control de reglas personalizadas, pueden percibir una alerta de forma directa u obtenerla de otras fuentes de alertas CAP externas. La herramienta retransmitiría aquella información que debe enrutarse al sistema de alerta de emergencia habilitado para CAP. Algunas herramientas en este sentido están vinculadas a un software en particular, mientras que otras herramientas están vinculadas con servicios generales de Internet como el *software* gratuito *Google Public Alerts*, plataformas de mapeo comunes como los aspectos habilitados para CAP de *Environmental Software* del Sistema de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés) del Instituto de Investigación de Sistemas (ESRI por sus siglas en inglés) y *softwares* gratuito de gestión de emergencias.

Para el CNA se recomienda diseñar un *software* específico para la creación, edición emisión de alertas CAP, el cual puede estar basados en *software* gratuitos y de código abierto como *CAP Alert*. Por razones de independencia tecnológica no se recomienda que para la difusión de mensajes CAP se utilicen *softwares* foráneos, aunque sin duda se puede hacer uso de los mismos (como puede ser el caso de *Google Public Alerts*) pero solo como fuente de difusión secundaria.

- ✓ Adquirir herramientas de mapeo CAP: Las herramientas de mapeo permiten a las autoridades de alertas dibujar un área de alerta en un mapa y genera el conjunto de coordenadas geográficas que describen el área. Por lo tanto, es necesario para el CNA adquirir herramientas de mapeo que admitan la generación interactiva de alertas CAP. Algunas de las

plataformas de mapeo más usadas en el manejo de emergencias habilitadas para CAP son el *software* ESRI GIS, *Google Maps* y productos y servicios de *Google Earth*. Es recomendable al emprender esta tarea contactar con organizaciones que han implementado el protocolo CAP para obtener asesoramiento sobre qué *software* de mapeo encontraron útil; así como buscar oportunidades para reducir costos mediante la adquisición conjunta de herramientas de mapeo y / o integración en productos y servicios comúnmente utilizados en la región.

- ✓ Registrar una autoridad de alerta: Las alertas publicadas y enviadas por el CNA pueden ser de interés para un público diverso tanto nacionales como extranjeros. De acuerdo con las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y de la UIT, las autoridades de alerta gubernamentales deben tener sus fuentes de información de alerta y/o noticias de CAP registradas en el Registro Internacional de Autoridades de Alerta de la OMM. La OMM también facilita un documento técnico que proporciona instrucciones sobre cómo establecer identificadores.

La implementación del CNA como una autoridad de alerta será un proceso complejo, donde la búsqueda de información sobre el tema, la colaboración y el asesoramiento con gobiernos y organizaciones que hayan implementado este protocolo será de vital importancia.

5.4 Propuesta del Sistema de Alerta de Emergencia sobre Redes Móviles

Uno de los principales medios sugeridos en la propuesta para la transmisión de alertas son las redes móviles, usando específicamente el Sistema de Transmisión Celular (CBS por sus siglas en inglés) (epígrafe 5.1). En los siguientes epígrafes se realizará una descripción de la propuesta.

5.4.1 Justificación de la propuesta

La telefonía celular al brindarle al usuario la posibilidad de portar su teléfono móvil en la mayoría de los escenarios, constituye probablemente unos de los mejores medios de recepción de alertas de emergencias. En México el 89% de la población predominantemente urbana (85,33 millones de personas) tiene cobertura de servicios de redes 3G/4G. De la de la población urbana, el 1%, lo que equivale a 0,96 millones de personas carece de cobertura de datos móviles, mientras que de la población de áreas rurales, aproximadamente el 44% (11,38 millones de personas), no cuentan con servicio 3G/4G [74]. En la Figura 26 se puede observar las zonas de coberturas y sin coberturas de redes 3G/4G en localidades con más de 500 habitantes.

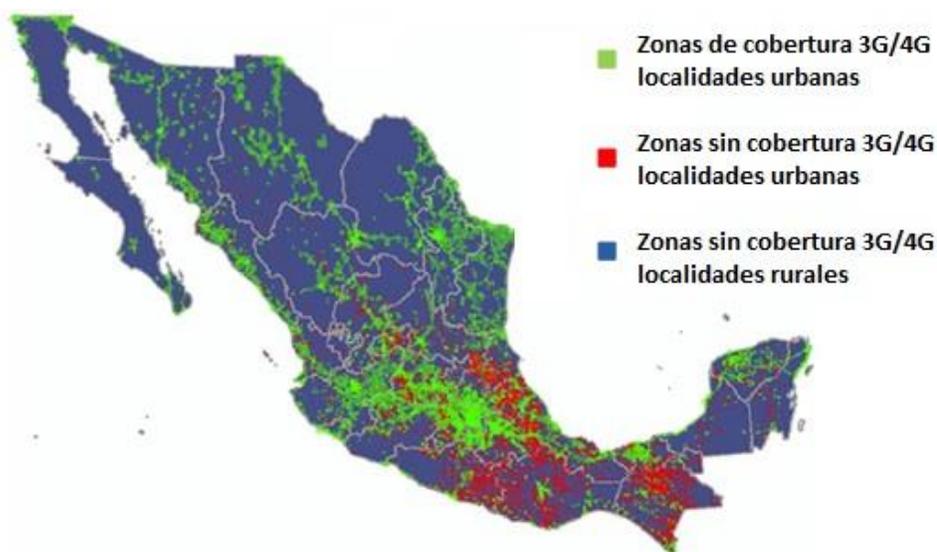


Figura 26. Zonas de Cobertura 3G/4G [72]

Para la implementación de un sistema de alerta de emergencia sobre redes móviles 3G/4G se propone la utilización del Sistema de Transmisión Celular (CBS). Para la implementación del mismo los principales proveedores de servicios mexicanos pueden consultar especificaciones técnicas como son [68] y [75].

Las principales ventajas de un CBS sobre redes móviles para México, donde el censo de la ENDUTIH del 2019 [76], arroja que 86.5 millones de mexicanos cuentan con un teléfono celular, son las siguientes:

- ✓ Es una tecnología probada por otros sistemas de alertas internacionales como *Wireless Emergency Alerts* de Estados Unidos, *Alert Ready* de Canadá [11] y *Earthquake Tsunami Warning System* de Japón [10]
- ✓ Permite transmitir mensajes de texto *broadcast* sin necesidad de una base de datos de abonados, por lo que no está sujeto a compañías celulares.
- ✓ Permite mandar alertas a zonas geográficas determinadas.
- ✓ Permite transmitir una alerta prácticamente en tiempo real.
- ✓ No es afectado por la congestión en la red pues utiliza señalización por red dedicada, que difiere de la capacidad de voz y datos.
- ✓ Permite mandar alertas incluso a extranjeros que se encuentren en las zonas geográficas afectadas, aunque no con una línea de una de las compañías de servicios celulares del país.
- ✓ Se ha integrado en todas las normas principales incluidas GSM, UMT, LTE y 5G por lo que se puede desplegar en la mayoría de las redes.

Esta tecnología también cuenta con algunas desventajas como son:

- ✓ Es necesario activar CBS en los dispositivos terminales de forma manual, por lo cual es necesario que el usuario comprenda la necesidad de activar este servicio en su terminal. Para ello, las campañas publicitarias sobre CBS pueden jugar un papel importante.

- ✓ No permite una comunicación bidireccional, es decir el receptor del mensaje no puede responder al mismo a menos que el mensaje contenga un número telefónico o código URL, por lo que no permite retroalimentación.

La [Tabla 4](#) permite observar un resumen de las principales características de CBS para México.

Tabla 4. Características CBS para México

Características	<i>Cell Broadcast Service (CBS)</i>
Tipo de transmisión	Mensaje <i>broadcast</i> punto a zona.
Vinculación a un número de teléfono móvil	Independiente. No es necesario contar con una línea de una empresa de servicios celulares del país.
Delimitación de objetivos basada en localización	Sí. Envía mensajes de alertas a todos los teléfonos en la zona geográfica especificada (celdas).
Tipo de mensaje	Específica a la localización. Pueden enviarse mensajes personalizados a zonas distintas, por lo que se puede alertar sobre diferentes fenómenos.
Bi-direccionalidad	Es unidireccional. En caso de que se desee una comunicación bidireccional el mensaje ha de contener un URL o número para poder responder.
Congestión y demora	CBS no se ve afectado por la congestión.
Longitud del mensaje	93 caracteres. Pueden ser enviados mensajes más extensos.
Seguridad	Solo el operador de telefonía móvil puede difundir mensajes. Lo que garantiza que los mensajes procedan de una autoridad de alerta.

Bloqueo de servicio	Sí. Los usuarios pueden detener la recepción de CBS.
Recepción	Requiere intervención. Es necesario que el usuario active CBS para recibir mensajes de alertas.
Confirmación de entrega	No. No cuenta con confirmación de entrega al terminal telefónico.
Intervalo de repetición	Sí. Los mensajes pueden ser reenviados en intervalos comprendidos entre 2 segundos y 32 minutos.
Selección de idioma	Sí. Se puede seleccionar el idioma de recepción del mensaje.
Almacenamiento de mensajes	Está en dependencia de la capacidad del terminal telefónico.

5.4.2 Estructura y funcionamiento de CBS para México

En cuanto a la estructura y funcionamiento de la difusión de mensajes de alertas en redes móviles utilizando CBS se pueden observar la [Figura 27](#).

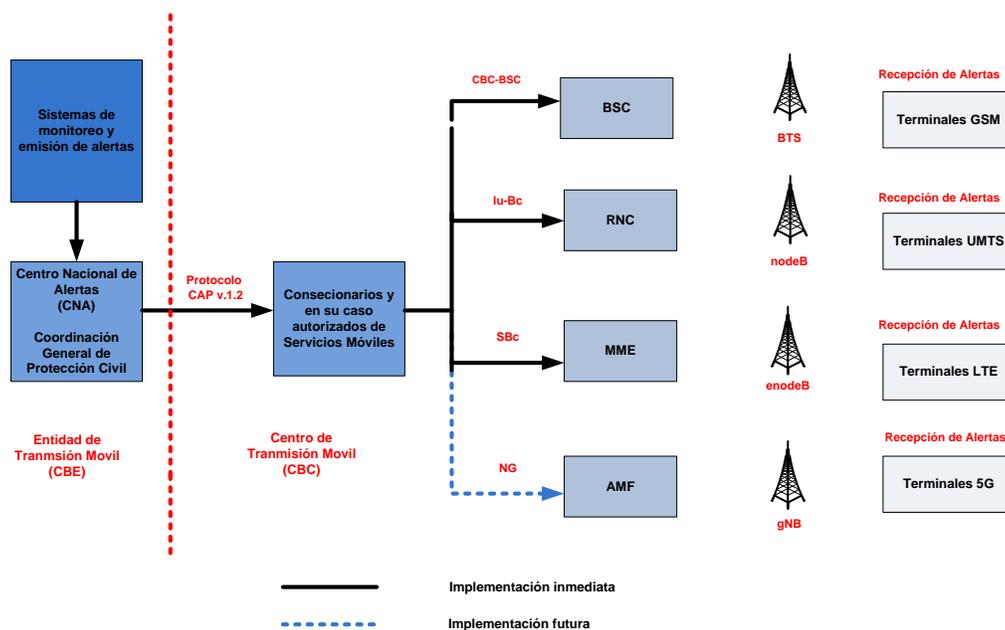


Figura 27. Estructura de CBS para México

En su configuración más básica, el sistema CBS está compuesto por un Centro de Transmisión Móvil (CBC) y una Entidad de Transmisión Móvil (CBE) [10]. El CBC se encuentra ubicado generalmente en la red del operador de servicios móviles, por lo que puede haber más de uno en dependencia del número de operadores; y la CBE, en los sistemas de alertas de emergencias, usualmente radican en una autoridad gubernamental o confiable. También se especificó que en muchas de las implementaciones de CBS para alertas de emergencias, la única CBE se divide en dos etapas [10]. La responsabilidad de ambas etapas por lo general concierne al gobierno o de la autoridad que está a cargo de controlar la emergencia.

En la propuesta aquí desarrollada la CBE está compuesta por los diferentes sistemas de monitoreo y emisión de alertas existentes en México y por el CNA, siendo este último, como autoridad gubernamental perteneciente al SINAPROC el responsable de las dos etapas del CBE. Estas etapas están compuestas por la creación y validación de mensajes respectivamente.

- ✓ Creación de mensajes: El mensaje de alerta será creado por el personal autorizado de los diferentes sistemas de monitoreo y emisión de alertas del país y enviados al CNA.
- ✓ Validación de mensajes: El mensaje es recibido en el CNA con el propósito de validar al emisor y el contenido del mensaje con el fin de impedir que se envíen mensajes de fuentes no autorizadas o con contenido erróneo. Almacenar los perfiles de los proveedores del servicio de CBC, para que dicha información sea transmitida a todo los CBCs pertenecientes a los distintos concesionarios o, autorizados del servicio de redes móviles (operadores de servicios móviles) que conformen el sistema de alerta, también es una de las funciones del CNA. Una vez validado el mensaje se transmite a uno o varios CBC que distribuye(n) el mensaje mediante la interfaz de radio correspondiente [10].

El CBS está directamente relacionado con los proveedores de servicios y la estructura interna de cada uno de ellos. De todas maneras, tomando en cuenta la propuesta realizada (Figura 27) se incluyen algunas aclaraciones generales sobre la configuración de los CBC:

- ✓ Los CBC pueden estar localizados individualmente dentro de cada proveedor de servicio móvil o compartido entre varios proveedores. Adicionalmente, un proveedor de servicio puede ofrecer una función de alojamiento del CBC.
- ✓ Dentro de 3GPP no se encuentra definida la interfaz CBC a CBC y los protocolos varían en dependencia del proveedor del CBC.
- ✓ La mayoría de las interfaces entre el CNA y el servicio de envío de mensajes a través de la infraestructura CBS utilizan protocolos de lenguaje XML, lo que incluye el Protocolo CAP.
- ✓ CBS trabaja en tecnologías GSM, UMTS y LTE. En especificaciones técnicas como [34], se describe el proceso de implementación del mismo para estas tecnologías.
- ✓ En el caso de 5G a pesar de estar en proceso de desarrollo normativo se hace referencia a CBS en [67].

En cuanto a la recepción de los mensajes CBS, los mismos son compatibles con la mayoría de los modelos de teléfono celulares actuales, pero frecuentemente puede ser necesario configurarlo manualmente o que se disponga de un servicio de *software* en el móvil [10], de ahí la importancia de realizar una correcta divulgación del sistema y vinculación del público a través de programas de concientización continuos.

En los teléfonos con CBS activado los mensajes de alertas pueden visualizarse automáticamente en la pantalla con un tono específico de alerta. Si el teléfono se encuentra apagado no se recibirá el mensaje de alerta. Si el teléfono se enciende y se envían actualizaciones de la alerta. estas si se recibirán en el terminal móvil [10].

5.5 Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia sobre Televisión Digital

La televisión digital es uno de los principales medios de difusión en México. En el 2019 el 96% de los hogares del país recibían señales de televisión digital [76], por lo que la transmisión de alertas de emergencias a través de dicho medio forma parte de la propuesta del Sistema de Alertas de Emergencia Integral para México, sobre todo por la posibilidad de que las mismas lleguen a un número significativo de la población.

5.5.1 Justificación de la propuesta

México realizó el apagón tecnológico en el 2015, quedando como estándar de televisión en el país el estándar ATSC 1.0 o A/53. En el país también se decretó a través del Diario Oficial de la Federación que todos los concesionarios del servicio de televisión podían hacer uso de cualquier mejora realizada al estándar como el estándar A/153 (ATSC M/H) siempre y cuando fueran compatibles con A/53 [77]

Las principales ventajas de establecer un sistema de alertas de emergencia para México a través de la televisión digital utilizando el estándar A/53 son:

- ✓ Es un medio de gran penetración en el país, determinándose que en 2018 contaba con 782 estaciones de transmisión y un área de cobertura poblacional de 101,931,008 habitantes ubicados en 120,609 localidades (90,74% de la población del país) [72]. Esto se puede observar mejor en la [Figura 28](#).



Figura 28. Cobertura TDT [70]

- ✓ A través del área de cobertura de los diferentes centros transmisores se puede limitar geográficamente una alerta, evitando así transmitir alertas innecesarias a la población.
- ✓ El estándar A/53 permite para la transmisión de la alerta el uso de señales visuales (*closed caption*) y sonoras.
- ✓ Utiliza el protocolo CAP para la transmisión de mensajes, aunque manera limitada, pues dado que solo transmite señales visuales y sonoras, no necesita utilizar todos los campos del mensaje CAP [10].
- ✓ El estándar A/53 permite dar prioridad en transporte y codificación de audio, deteniendo cualquier servicio principal que se esté reproduciendo en el instante, para solamente reproducir la señal sonora del servicio asociado a la emergencia [43].

A pesar de que el uso del estándar ATSC M/H (A/153) está autorizado en México, apenas es utilizado por los concesionarios y autorizados del servicio de televisión. Sin embargo, es un estándar compatible con A/53 y que cumple con todas las ventajas del sistema de alertas sobre A/53 y a su vez introduce una serie de mecanismos de transmisión de alertas como el servicio de alertas de emergencia móvil M-(EAS) [44] el cual una vez implementado, permitiría un sistema de alertas a través de la señal de televisión con las siguientes características:

- ✓ Admite la utilización del protocolo CAP en la transmisión de mensajes de alerta, a través del sistema M-EAS, el cual extrae el texto del mensaje de emergencia y cualquier información adicional que lleve el mensaje CAP.
- ✓ El estándar ATSC M/H al ser compatible con A/53 permite la recepción en terminales fijos y portátiles, lo que garantiza que la alerta se reciba no solo en aquella población que se encuentre cerca de un receptor fijo, sino que esta se expande a aquella población que tenga acceso a receptores portátiles.
- ✓ El estándar ATSC M/H permite el encendido del receptor cuando este se encuentra en *standby* y la sintonización automática de alertas a través de comandos enviados del centro transmisor [78].

- ✓ El estándar ATSC M/H admite la transmisión de contenido multimedia (videos, fotos, audios, etc.) para apoyar la comprensión por parte de la población de la situación de emergencia a través de los servicios NRT.

El principal inconveniente en la implementación del estándar ATSC M/H es que conlleva un cambio en los equipos receptores dado que las transmisiones del estándar A/153 son invisibles para los receptores de A/53, por lo que su implementación no será inmediata.

En el [epígrafe 4.3](#) se desarrolló el tema de la evolución de la tecnología de la televisión digital, siendo el resultado de este, el estándar ATSC 3.0 (A/300). Este estándar no es compatible con A/53 o A/153, por lo que su implantación llevaría tanto a una sustitución de equipos receptores, con su consiguiente inversión económica. Sin embargo, las facilidades que brinda para la implementación de un sistema de alertas abarcan el conjunto de las de A/53 y A/153, e incluye [\[62\]](#):

- ✓ Soporte ATSC 3.0 para sistemas de alertas: Para el sistema de alerta convencional, es probable que el audio de emergencia permanezca como una pantalla de texto incrustada en el video, y como parte de la pista de audio principal como se define en el estándar ATSC A/342. A/342 también proporciona pistas de audio alternativas (por ejemplo, servicios de audio de asistencia, diálogo en otros idiomas, comentarios especiales, música y efectos) con la pista de audio principal u otras pistas de audio. En este sentido, la visualización visual y auditiva de emergencia por las estaciones ATSC 3.0 se mantendría sustancialmente similar a los métodos actuales de recepción, procesamiento y visualización de alertas.
- ✓ Soporte ATSC 3.0 para servicios de Alerta de Emergencia Avanzada (ATSC 3.0 AEA): ATSC 3.0 AEA es una especificación abierta, no patentada e incorporada en el estándar ATSC A / 331, con soporte para otros estándares ATSC 3.0. El servicio ATSC 3.0 AEA incluye un formato de mensajería basado en XML destinado a comunicaciones flexibles de cualquier tipo de información urgente al receptor del consumidor. En las circunstancias más extremas, este servicio también puede activar la capacidad de "activación" de arranque para receptores ATSC 3.0 habilitados. ATSC 3.0 AEA admite una amplia gama de información urgente y de emergencia; que difiere del sistema actual de alertas en varias áreas claves. ATSC 3.0 AEA puede proporcionar la capacidad de dirigirse a audiencias con información de emergencia sobre el cierre de una escuela, el cierre de distritos escolares, emergencias de tráfico u otras perturbaciones locales, exactamente el tipo de información urgente local que las audiencias pueden usar, pero también es el tipo de información que no es parte de un mensaje de alerta de emergencia. Una alerta de emergencia puede ser intrusiva porque interrumpiría la programación de audio e impondría un mensaje en la pantalla con un desplazamiento lento de abajo hacia arriba (*screen crawl*). Un mensaje ATSC 3.0 AEA puede ser menos intrusivo para el espectador, en este caso no interrumpe la programación y permite al televidente elegir qué información desea ver. Además, los mensajes ATSC 3.0 AEA pueden admitir una orientación geográfica mucho más estrecha de la información de emergencia, complementada con gráficos, video y la transmisión en vivo de una estación con cobertura de un evento.

Aunque la bibliografía consultada no ha ofrecido información referente a la futura transición de México a ATSC 3.0, dado entre otras razones que es un estándar relativamente nuevo (diciembre, 2019), es necesario tenerlo en cuenta porque es la evolución de los estándares A/53 y A/153, y, por tanto, pudiera ser el estándar de televisión digital futuro para aquellos países que hayan adoptado la norma ATSC 1.0, lo que influiría en los desarrollos a largo plazo de los sistemas de alertas sobre este medio.

5.5.2 Estructura y funcionamiento de SAE sobre TDT para México

En cuanto a la estructura y funcionamiento de la difusión de mensajes de alertas en redes de radiodifusión, específicamente la televisión utilizando los estándares anteriormente descritos, se pueden ver en la [Figura 29](#). En la misma se puede observar que inicialmente el sistema de alertas de emergencia solo puede utilizar el estándar A/53, que es la tecnología presente en el país, tanto para equipos transmisores como receptores. El principio de funcionamiento en la recepción de alertas sería similar al utilizado en CBS, solo que no se utiliza el término CBE porque solo se ha observado asociado a redes móviles.

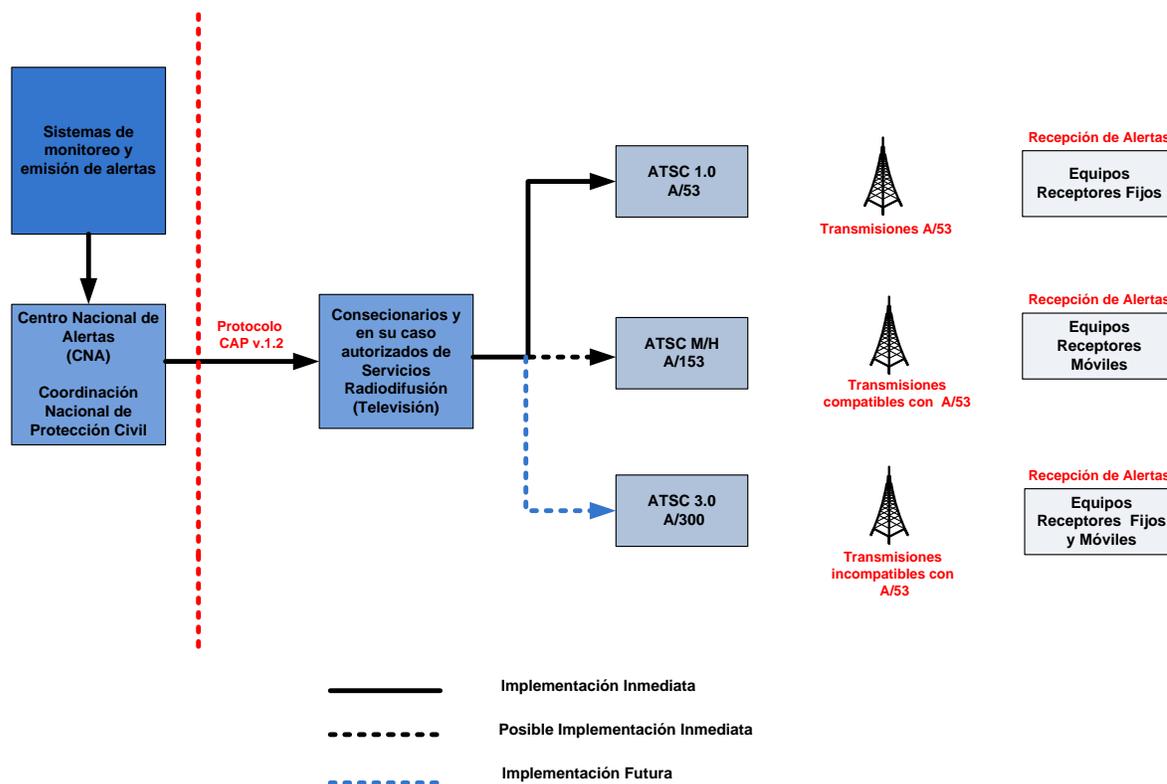


Figura 29. Estructura SAE sobre TDT para México

Es importante señalar que el documento [40], constituye un estudio previo de una propuesta de sistemas de alerta de emergencia sobre televisión digital en México. La propuesta aquí presentada específicamente en este apartado de TDT tiene puntos de concordancia con esta propuesta anterior. Las principales diferencias radican que se han utilizados bibliografías más actualizadas y que la propuesta sobre TDT no se observa de manera independiente, sino como parte de un todo que es la propuesta integral.

En la propuesta, una vez que los diferentes concesionarios del servicio de televisión reciben mensaje de alarma lo transmiten utilizando el estándar A/53. El proceso de transmisión y recepción tienen las siguientes características, las cuales se describen con mayor profundidad en [43]:

- ✓ Los campos del mensaje CAP utilizados en la transmisión del mensaje son: “*alert*”, “*info*” y “*area*” ([epígrafe 3.2.1](#)).

- ✓ Si la alerta es inminente a través de servicio de audio AC-3, el servicio de emergencia permitirá el envío de un anuncio de alerta, el cual tendrá prioridad sobre cualquier servicio de audio que se esté escuchando en el momento (epígrafe 3.4.2).
- ✓ Los mensajes de información del evento se transmitirán como *closed- caption* [43].
- ✓ En el receptor la señal de alerta a través de AC-3 puede presentarse como una alarma en el canal principal de audio, mientras que la señal de alerta a través de MPEG-2 se presenta como texto sobrepuesto a la transmisión habitual en la pantalla del televisor, este último independiente del *closed- caption*.

La propuesta sobre A/153, permitiría incluir en la recepción a los receptores móviles, así como desarrollar un sistema de alertas con mayores prestaciones [78], como las mencionadas en el epígrafe anterior.

En caso de que México decida emigrar su sistema de televisión digital a ATSC 3.0, este estándar también ha sido considerado en la propuesta aquí presentada, como una posible implementación a futuro. El sistema de alerta sobre A/300 combinaría las prestaciones de los sistemas sobre A/53 y A/153.

5.6 Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia sobre Radiodifusión Sonora

En México, en contraste con la televisión donde las transmisiones son digitales, la radio todavía se encuentra en un proceso de simultaneidad donde coexisten tanto las transmisiones digitales como las analógicas. La Propuesta del Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México incluye este medio de transmisión en ambas variantes. En los siguientes epígrafes se explicará esta parte de la propuesta.

5.6.1 Justificación de la propuesta

Los sistemas de alerta de emergencia que funcionan a través de la radio analógica continúan siendo muy utilizadas. En [38] aparecen algunas de las razones de este hecho:

- ✓ En radiodifusión las bandas de frecuencias están considerablemente armonizadas internacionalmente y pueden usarse para transmitir mensajes de alertas de emergencias a un número importante de la población mundial.
- ✓ En la radiodifusión terrestre existen varios sistemas que permiten una cobertura mundial o regional de la señal transmitida.
- ✓ Muchos centros transmisores pueden funcionar de manera autónoma (durante semanas) sin fluido eléctrico del exterior.
- ✓ Muchas emisoras de radiodifusión sonora han desarrollado mecanismos (periodismo electrónico y boletines de noticias) para transmitir información de alertas y de actividades de socorro con el propósito de darle a conocer al público la situación y las labores que se realizan antes durante y después de una catástrofe.
- ✓ Varios países han desarrollado sistemas de alertas de emergencias, donde la radiodifusión sonora juega un papel fundamental, pues muchas estaciones se conectan y difunden información procedente de entidades gubernamentales o internacionales que realizan predicciones sobre posibles amenazas.
- ✓ Un solo transmisor puede cubrir amplias zonas de servicio si trabaja en las bandas de frecuencia de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas.

- ✓ Algunas estaciones de radiodifusión cuentan con sus propios sismógrafos repartidos por sus correspondientes países, estudian la intensidad de un sismo y difunden de manera voluntaria alertas a la población.

Cabe agregar a esto, que en el caso específico de México, la radio analógica tanto en AM como FM cubren una parte importante del territorio nacional, como se puede observar tanto en las Figuras 30 y 31 respectivamente.

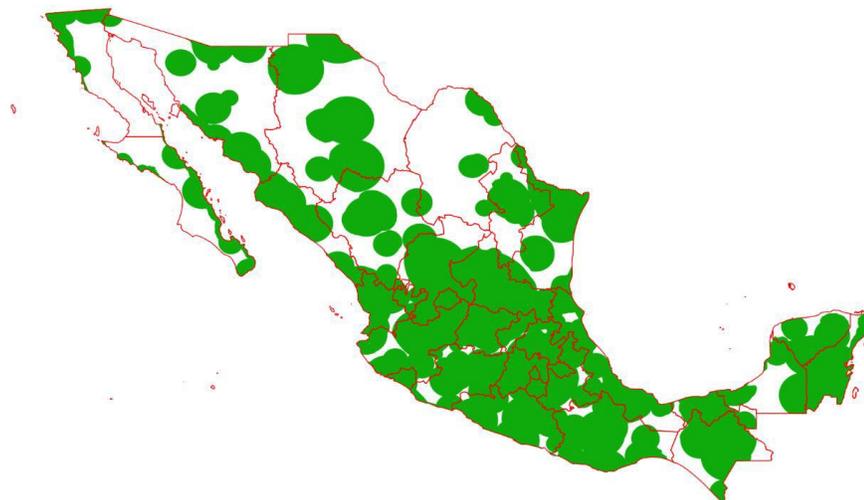


Figura 30. Cobertura servicio AM analógico [70]

En el documento [72] del 2018 se estima una cobertura poblacional del servicio de AM analógico del 95,95% de la población total del país, lo equivale a 107,786,543 habitantes distribuidos en 158,122 localidades. En el caso de la FM analógico, en el mismo documento, se estima una cobertura poblacional del 92,81% de la población total del país, lo que representaría a 104,261,773 habitantes, distribuidos en 135,312 localidades [72].

En cuanto al uso estimado que hace la población de los servicios de radiodifusión en [74] se pueden encontrar los siguientes datos:

- ✓ El 39% de las personas dijeron escuchar estaciones de radio (40% urbano 35% rural).
- ✓ 49% de las personas tienen receptor de radio en su casa (49% urbano 46% rural).
- ✓ El promedio de radios en el hogar es de 1.3 (1.3 urbano, 1.2 rural).
- ✓ El 81% de las personas que escuchan la radio lo hacen principalmente en su casa.
- ✓ El 71% de los que escuchan la radio, lo hacen exclusivamente en estaciones de FM.

En cuanto al acceso que tenga la población a los equipos receptores de radio analógica. En el caso de la radio analógica, tanto en tiendas departamentales como en ventas a través de Internet, se pueden encontrar modelos de receptores más económicos que equipos receptores de televisión y redes celulares.

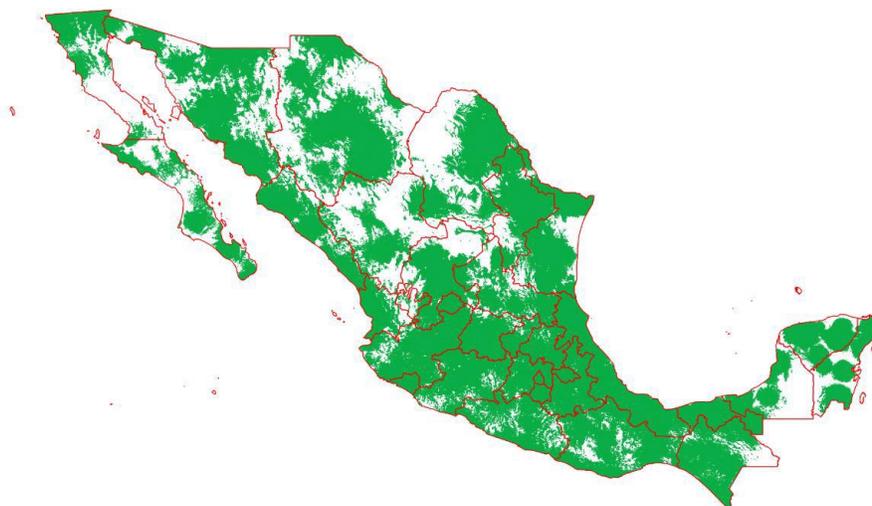


Figura 31. Cobertura servicio FM analógico [70]

En el caso de las señales de radio digital, se pudo observar en el [epígrafe 4.2.5](#) las coberturas de radio digital presentes en México tanto para AM como para FM. De las estaciones de radiodifusión sonora en general, el 3,1% (66 estaciones) trabajan con tecnología IBOC. De estas 66 estaciones, el 3,7% transmite en FM y el 1,5% en AM. Asimismo, estas estaciones se encuentran en ciudades densamente pobladas, por lo cual 54, 789,566 habitantes para el caso de FM y 22, 455, 215 habitantes para el caso de AM, se encuentran en zonas de cobertura de esta tecnología, lo que representa el 49 % y 20%, respectivamente, de la población total del país [50].

La radio digital en el país es escuchada principalmente en los automóviles cuyos modelos traen integrados un receptor de radio digital, lo que le atribuye movilidad a la recepción de la alerta, siendo de especial interés para aquellos usuarios que se encuentren conduciendo o como pasajeros en el interior de un vehículo. Además, permite la transmisión no solo de mensajes de audio ante una emergencia, sino de otras prestaciones, como se verán el siguiente epígrafe.

5.6.2 Estructura y funcionamiento de SAE sobre radiodifusión sonora analógica y digital para México

La estructura y funcionamiento de la difusión de mensajes de alertas en redes de radiodifusión sonora se puede observar en la [Figura 32](#). En la misma se puede apreciar que el sistema de alerta tiene en cuenta tanto la radiodifusión sonora analógica como la digital. La creación, validación y envío de mensajes a los concesionarios de servicios de radiodifusión se realiza de manera similar que en los casos anteriores y de igual manera se utilizará el protocolo CAP para transmitir los mensajes de alertas.

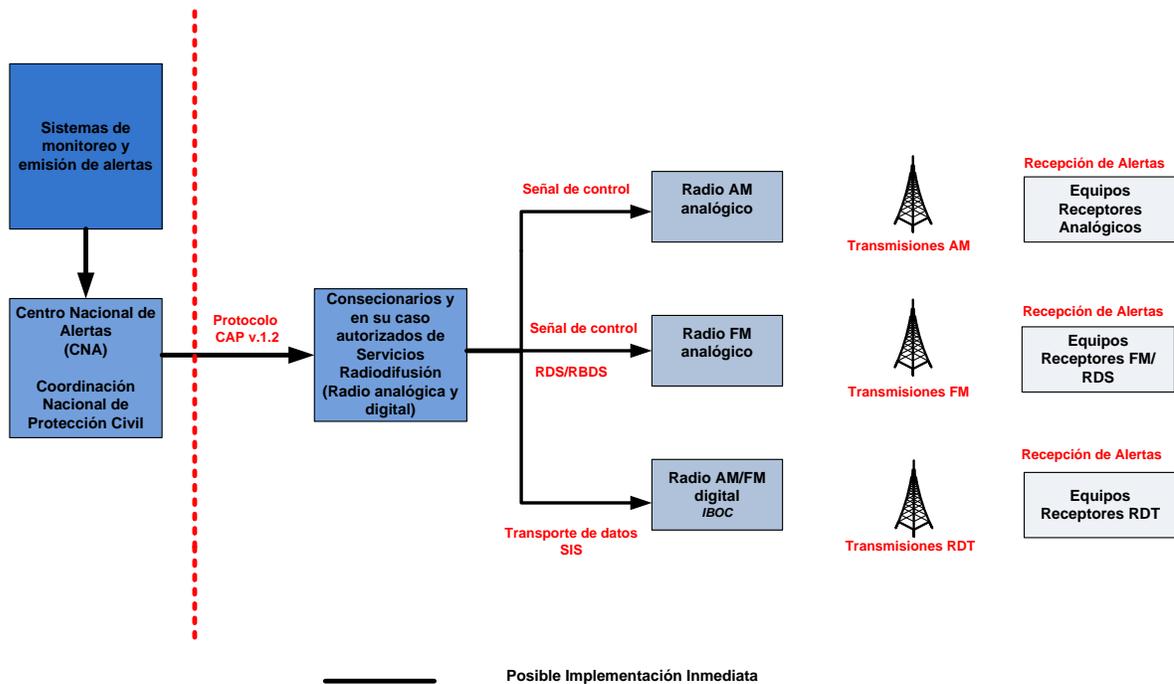


Figura 32. Estructura SAE sobre radiodifusión sonora para México

Radio AM

La transmisión de alertas por radio analógico en AM comenzará con la generación de una señal de control, la cual se conmutará con la señal del programa de radio antes de pasar al transmisor, como se puede ver en la Figura 6. En [37] se especifica que esta es una señal con modulación por desplazamiento de frecuencia (MDF) que hace uso de dos frecuencias de audio, 640 Hz y 1 024 Hz, y que puede transmitir datos a 64 bit/s. Además, se recomienda que el nivel de modulación de la señal de control sea cercano a 80%, para que pueda detectarse eficazmente. La señal de control cuenta con un componente sonoro se percibirá como un sonido de alarma para llamar la atención de los oyentes e interrumpirá la programación en curso. Seguido de esta señal audible se transmitirá la información de la emergencia. Luego de ser transmitida esta información, otra señal audible indicará el fin de la transmisión y se reanudará la programación.

Para los receptores de radio AM que cuenten con la función de sistema de alerta de emergencia, esta señal de control activará estos receptores cuando se encuentren en *standby* y una vez finalizada la transmisión de emergencia el receptor activado volverá a su estado inicial.

Radio FM

Las transmisiones de alertas de emergencia a través de radio analógico en FM se pueden realizar de la misma manera que la difusión de alertas en radio analógico en AM, pues en [37], se define en manera general, la transmisión de alertas para radiodifusión sonora analógica sin distinción de que la modulación sea en amplitud o en frecuencia.

El principal inconveniente de la transmisión de alertas descrito para radio AM, es que para transmitir la alerta se debe interrumpir la programación en curso. La radio FM permite, además de la

forma descrita con anterioridad, la transmisión de alertas sin interrupciones de la programación principal a través algunas aplicaciones de los sistemas RDS o RBDS.

Una de estas aplicaciones de sistemas RDS y RBDS y que se propone en esta investigación para la transmisión de alertas, en caso de que las mismas no tengan un carácter urgente y no sea necesaria la interrupción de programación, son los radiotextos que se transmiten a través del grupo 2 del sistema RDS y permitirán entregar mensajes de alertas en los receptores de 32 o 64 caracteres, los que se repetirán de manera cíclica mientras esté vigente dicho mensaje. Los radiotextos también pueden ser configurados para transmitirse acompañando a un audio con la descripción del evento de emergencia, e incluso para que continúen transmitiéndose después de terminado este audio y aún dure el evento, para que los oyentes que sintonicen la estación, después de que el mensaje de audio haya terminado, aún puedan obtener la información importante. Esto también sería útil para la discapacidad auditiva

Como se aclaró RBDS es el nombre que principalmente Estados Unidos adoptó para el sistema RDS. Por definición RBDS incluye todas las características de RDS más algunos anexos como es el caso de Anexo Q [79] donde se describe el uso de ODA para transmitir datos de un sistema de alertas de emergencia.

El protocolo ODA es otra de las aplicaciones (epígrafe 3.4.1), que permiten en radio FM mayores posibilidades en la transmisión de alertas, por lo que también se incluye en esta propuesta. En caso de que las radiodifusoras puedan utilizar ODA, este protocolo permite utilizar, mensajes sonoros, radiotexto, y diferentes tipos de mensajes de alertas como los que se muestran a continuación [79]:

- ✓ “Mensaje de Prueba” PTY-30: indica que hay una transmisión de prueba en proceso. No debe producirse ninguna interrupción del audio. Durante la recepción de este código los mensajes recibidos se manejarán como mensajes de prueba y no como datos de advertencia válidos. Este tipo de mensajes es óptimo para probar el funcionamiento de los sistemas de alertas.
- ✓ “Mensaje de Alerta” PTY-31: indica que hay una alerta de emergencia en proceso. Un mensaje de alerta de audio acompañará este código El equipo del consumidor debe interrumpir las operaciones actuales (es decir, reproducción o radio apagada) durante la recepción de este código y cambiar a recepción FM. Los receptores deben aumentar el volumen a un nivel audible durante la recepción del mensaje de alerta.

En la recepción de alertas, aquellos receptores que tienen la capacidad de grabar y reproducir audio podrían ser configurados para capturar información de emergencia Esto sería beneficioso, por ejemplo, para un radioyente que salió del auto, y se perdió el anuncio de alerta.

Radio digital

En cuanto a la transmisión de alertas a través de radio digital, el protocolo IBOC tanto para AM como FM, permite las transmisiones de alertas de emergencia a través de los datos de la Estación de Servicios de Información (SIS). Actualmente, más allá de la transmisión de alertas y mensajes de audio, las alertas de emergencia de HD Radio tienen la capacidad de habilitar [56]:

- ✓ Notificaciones de texto mejoradas, con mensajes primarios capaces de admitir hasta 374 caracteres de texto, lo que permite transmitir la información de alertas a través de los mensajes CAP para alertar a los destinatarios.
- ✓ Información con orientación geográfica, lo que garantiza que solo aquellos oyentes que viajen en el área propensa a una situación de catástrofe reciban la alerta.

- ✓ Audio y texto multilingües, los que se pueden proporcionar simultáneamente en estaciones que admiten señales de multidifusión digital.
- ✓ Establecer parámetros de alerta específicos. Por ejemplo, las alertas se pueden categorizar y adaptar por tema, gravedad y más.
- ✓ Capacidad de “despertar dispositivos”, lo que permite que un dispositivo de electrónica de consumo compatible con HD Radio se despierte automáticamente desde el modo *standby* y notifique al usuario al recibir una alerta de emergencia.
- ✓ Capacidad de “autoajuste”, que permite a un usuario de radio recibir una alerta de emergencia incluso cuando la radio de la persona está sintonizada en una estación diferente. Se puede señalar a muchos receptores de HD Radio para que sintonicen una estación que transmite mensajes de alertas, incluso si la radio estaba sintonizada en otra estación en el momento de la transmisión de emergencia. Esto asegura que las alertas de emergencia lleguen a los oyentes, incluso si están escuchando otra estación.

A pesar de ser una tecnología emergente en México, por sus grandes prestaciones para la transmisión de alertas ha sido incluida en esta propuesta, considerando que sería muy beneficioso para la población en general, desde el punto de vista de los beneficios que aportarían a un sistema de alertas, que esta tecnología tuviera mayor penetración en la población.

5.7 Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia para zonas de silencio

5.7.1 Justificación de la propuesta

En la actualidad, México cuenta con una serie de instituciones y sistemas de monitoreo públicos, semipúblicos y privados para la detección de catástrofes y emisión de alertas. Las alertas generadas por estos sistemas se transmiten a las diferentes zonas del país por los diferentes medios de radiodifusión. Sin embargo, en estudios realizados por la IFT se ha comprobado que el país cuenta con más de 1 millón de habitantes que viven en localidades que no disponen de acceso a los servicios de radiodifusión en ninguna de sus modalidades (Figura 33) [72]. Considerando la necesidad que tiene este grupo poblacional de acceder a las notificaciones de alertas de emergencias, y que los satélites mexicanos brindan cobertura en todo el país; este trabajo investigativo propone que se desarrolle un sistema de alertas de emergencia a través de las señales satelitales, el cual permita la recepción de este tipo de mensajes en zonas sin cobertura de señales de radiodifusión y redes celulares.

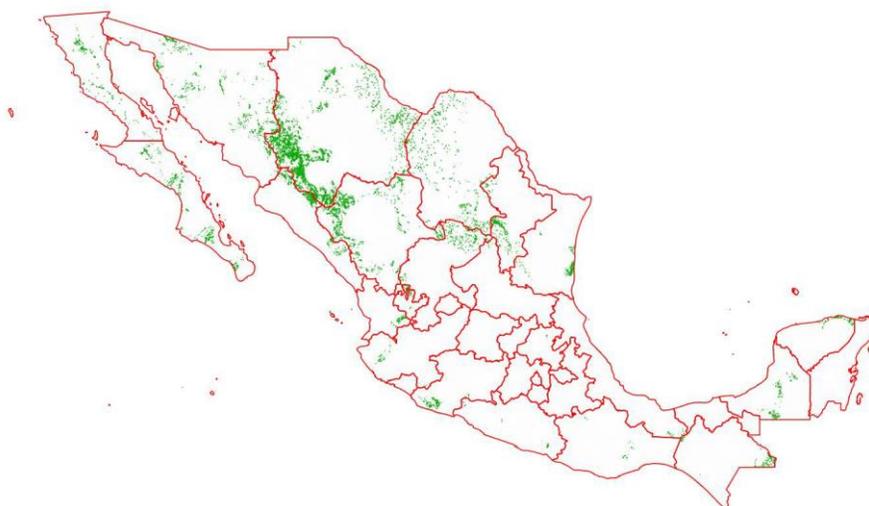


Figura 33. Localidades sin cobertura de servicio de radiodifusión en México [70]

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 propone en su objetivo 4.5 “democratizar el acceso a los servicios de telecomunicaciones”, por lo que dispone de las tareas que se pueden observar a continuación y que justifica la creación del Sistema Satelital Mexicano [80]:

- ✓ Desarrollar e implementar un sistema de alerta de emergencia satelital que apoye en la prevención y mitigación de pérdidas de vidas y daños materiales ante una catástrofe.
- ✓ Desarrollar e implementar la infraestructura espacial de banda ancha, agregando modernas tecnologías satelitales para ir favoreciendo el incremento de las capacidades espaciales nacionales de las próximas generaciones.

El Sistema Mexsat forma parte tercera generación de satélites en México. Este sistema está compuesto por el satélite Morelos 3 (comunicación móvil), el satélite Bicentenario (comunicación fija) y por dos Centros de Telemetría y Control para la operación de los satélites, enclavados en Hermosillo, Sonora e Iztapalapa, Ciudad de México. En estos centros trabajan ingenieros mexicanos altamente capacitados, de la empresa *Telecomm* lo cual asegura la autodeterminación y soberanía de las comunicaciones de las entidades de protección civil y de seguridad de México [80].

Algunas de las características de los satélites del Sistema Mexsat son las siguientes:

- ✓ Satélite Bicentenario. Este satélite fue lanzado a bordo del cohete Ariane 5 en diciembre de 2012. En la actualidad la Secretaría de la Defensa Nacional, la Procuraduría General de la República, la Secretaría de Marina, la Policía Federal, el Centro de Investigación y Seguridad Nacional, así como 5 mil sitios del programa México Conectado, reciben servicios de comunicación fija por parte de este satélite.
- ✓ Satélite Morelos 3. Este satélite fue puesto en órbita en octubre de 2015, por el cohete Atlas A-421 y, una vez que entre en operaciones proveerá servicios de datos, voz y video en tiempo real a todo México. Además, permitirá la transmisión de alertas de emergencia así como la protección de las comunicaciones del sistema de seguridad nacional, dado que posee avanzados sistemas de protección de datos y cifrado. La capacidad de suscriptores de comunicaciones móviles de este satélite es de 110 mil usuarios. Morelos 3 apoyará al

CENAPRED en sus tareas de prevención, monitoreo y protección en situaciones de emergencia, así como en otras labores directamente relacionadas a la seguridad nacional y la salvaguarda de la población.

Dado que inicialmente en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 se definió el Satélite Morelos 3 para toda la actividad relacionada con la alerta de emergencias, la propuesta que se presenta a continuación tendrá en consideración las bandas de trabajo de dicho satélite.

5.7.2 Estructura y funcionamiento de SAE satelital

En el caso particular del SAE satelital se propone la utilización de dos protocolos de transmisión de mensajes de alertas: el Protocolo de Alerta Común (CAP, por sus siglas en inglés) y el Protocolo de Encapsulación de Mensajes de Alerta Múltiple por Satélites (MAMES, por sus siglas en inglés) Como se ha especificado en todas las propuestas la creación, validación y envío de mensajes del CNA a los Centros de Telemetría y Control satelital en este caso, se realizará de manera similar que en los epígrafes anteriores y se utilizará el protocolo CAP para transmitir los mensajes de alertas en formato XML. Luego se utilizará el protocolo MAMES para transmitir estos mensajes de alertas de estos centros al satélite y luego a diferentes centros de recepción (estaciones terrenas) ubicados en localidades sin recepción de servicios de radiodifusión. En la Figura 34 se puede observar este esquema de transmisión.

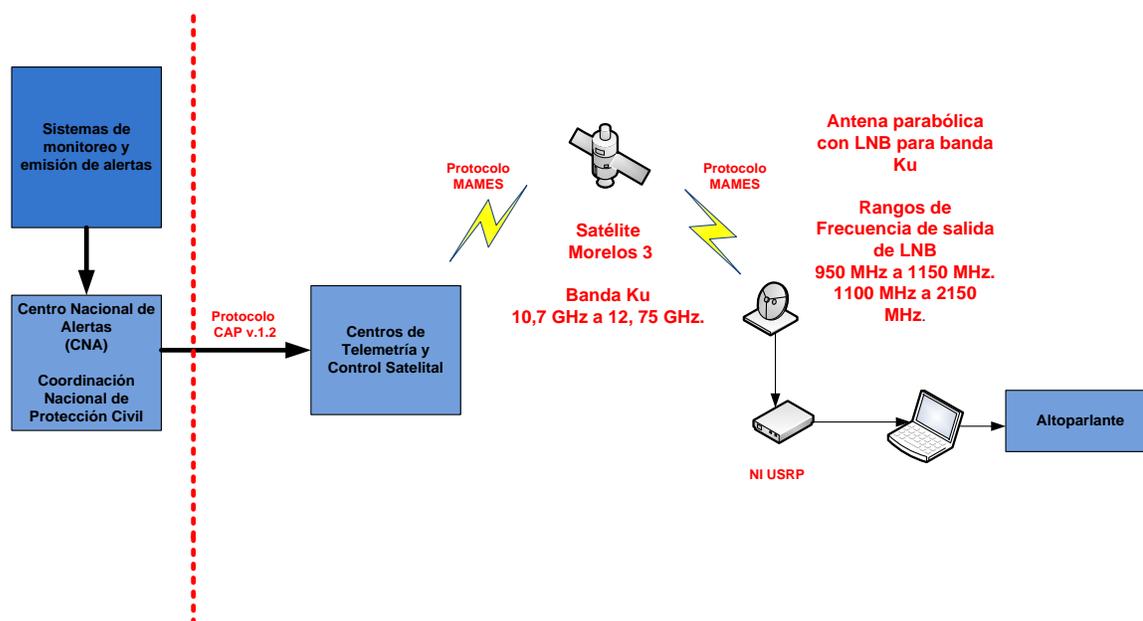


Figura 34. Estructura SAE satelital para México

El satélite Morelos 3 trabaja en banda L y banda Ku. En banda L brinda servicios móviles satelitales y en banda Ku servicio fijo satelital [81]. El servicio fijo por satélite es el “servicio de radiocomunicación entre estaciones terrenas situadas en emplazamientos dados cuando se utilizan uno o más satélites”[82]. Por lo anteriormente descrito se propone usar la banda Ku y el satélite Morelos 3 para la transmisión y recepción de alertas.

El protocolo MAMES, tiene entre sus objetivos apoyar la entrega de mensajes de protocolos de alerta que se ajusten a un estándar o especificación de protocolo de alerta avanzado (CAP) y/o protocolos de alertas básicos (por ejemplo: texto no estructurado, datos de audio, imágenes digitales, etc.). En la trama MAMES, la carga útil puede incluir mensajes encapsulados en CAP o simplemente textos, datos de audio o imágenes que informen de una situación de alerta inminente.

Es importante destacar que el tamaño y método de incrustación de una trama MAMES en las capas inferiores de un sistema de transmisión por satélite fijo depende obviamente de una variedad de factores, incluido el estándar de transmisión del sistema de comunicaciones satelitales, sus capacidades, configuración y modo típico de operación, así como las políticas y preferencias del operador satelital. Para la transmisión de una trama MAMES la estación de enlace ascendente debe ofrecer una interfaz local directa para el proveedor MAMES (ubicado en los centros de Telemetría y Control), lo que implicaría acceso en tiempo real al estado de los recursos de enlace ascendente del sistema de comunicaciones satelitales antes de la transmisión, en particular para hacer un uso óptimo de los recursos y garantizar que el tamaño de la trama MAMES no exceda la capacidad de dicho sistema. Los detalles de esta interfaz están fuera del alcance de esta tesis.

Para el sistema de recepción (Figura 34) se propone utilizar el Escenario B2 del epígrafe 3.5.3, donde la recepción del mensaje MAMES sería de forma indirecta. Es decir, se montaría una antena parabólica en banda Ku en los centros de recepción, cuya unidad interior no será compatible con MAMES (permitiendo que se puede utilizar cualquier antena de recepción satelital en banda KU) y estará interconectada, a través de una red de área local cableada, a un receptor MAMES independiente (dispositivo dedicado). Un receptor MAMES tiene por objetivo desencapsular el mensaje MAMES, por lo que puede ser un equipo de recepción dedicado basado en *software* [46]. Para este equipo se propone el uso de un radio definido por software (SDR). En este escenario, el sistema de recepción de alertas el SDR estará conectado a una laptop donde se visualizará la alerta a través del programa de recepción que se diseñe. Se recomienda que dicha laptop este acoplada altavoces o sirenas ubicados en uno o varios lugares bien frecuentados de la localidad de forma tal que estos avisen a la comunidad a través de un tono de alarma, en caso de que la alerta tenga carácter urgente; o a través de mensajes de audios.

Se puede valorar que en cada comunidad crear y capacitar personal para constituir grupos de monitoreo de alertas y de mantenimiento constructivo del inmueble donde se instale el sistema de recepción. Estos grupos de monitoreo, haciendo uso de la laptop del sistema podrían ser los encargados de recibir y difundir en la comunidad cualquier información adicional brindada por la defensa civil para mejorar la respuesta de la población local ante situaciones de emergencias

En cuanto a lo conveniente de utilizar los SDR como sistemas de recepción dedicados se puede argumentar que esta tecnología previene que se deba construir diferentes módulos de electrónica y que estos tengan que integrarse a través cables conectores y demás elementos electrónicos [83]. En los SDR todo se encuentra concentrado en un solo dispositivo y solo es necesario modificar el *software* y adaptarse en función de la tarea que se desee realizar, en este caso implementar un receptor que sea capaz de percibir las señales provenientes de un satélite en órbita. Además, dado que la mayor parte de los parámetros de comunicación se implementan en *software*, estos receptores podrán adaptarse a cambios futuros del canal de transmisión, incluidos cambios de frecuencia y de satélite (con ciertas restricciones).

Otro aspecto importante a tener en cuenta en la recepción de las señales de alertas a través de satélites son las frecuencias de trabajo. Los diferentes modelos de SDR trabajan mayoritariamente entre 50 MHz y 6 GHz, sin embargo, la banda Ku trabaja entre 10,7 GHz a 12, 75 GHz. Para permitir

que el SDR sea capaz de recibir la señal satelital se propone como antena de recepción una parábola y un LNB ambos para banda Ku. El LNB para esta banda tiene las siguientes características:

- ✓ Rango de frecuencias de entrada

Toda la banda Ku, de 10,7 GHz a 12, 75 GHz.

La sub-banda baja, de 10,7 GHz a 11, 7 GHz.

La sub-banda alta, de 11,7 GHz a 12, 75 GHz.

- ✓ Rango de frecuencias de salida:

950 MHz a 1150 MHz.

1100 MHz a 2150 MHz.

Buscando en mercado un radio definido por *software* relativamente económico destaca el USRP 2900 [84]. Este dispositivo cuenta con un hardware que permite el manejo de frecuencias desde los 70 MHz a los 6 GHz, dando un amplio margen para el desarrollo de aplicaciones en programas como GNU Radio, *LabVIEW* y Matlab.

En la [Figura 35](#) se puede observar más detalladamente el sistema de recepción del SAE satelital. El LNB realiza en un solo bloque las funciones de un amplificador de bajo ruido y un convertidor de bajada, lo que amplifica la señal recibida en la parábola manteniendo fija la relación señal a ruido, y convirtiéndola a una frecuencia cuya FI (frecuencia intermedia) estaría en el rango de 950 a 1150 MHz.

El proceso de demodulación y de decodificación de la señal que se lleva a cabo en el SDR. En la bibliografía consultada [85], se expresa que en los sistemas de transmisión satelital, generalmente la señal portadora es modulada digitalmente en fase PSK (*Phase Shift Keying*) utilizándose en la mayoría de los casos la modulación QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*). En la configuración como receptor del USRP 2900 se pueden utilizar cualquiera de los programas anteriormente mencionados, pero en el caso específico de *LabView*, este cuenta con el paquete *LabVIEW Modulation Toolkit* el cual permite un rápido desarrollo para la simulación de los sistemas de comunicaciones. En lo relacionado a la transmisión/recepción, se incluyen proyectos, que proporcionan funcionalidad para la generación de secuencias, modulación/demodulación de banda base y la codificación/decodificación de canal. En *LabVIEW* también se puede encontrar el módulo *MATLAB script* el cual permite utilizar la sintaxis de los archivos *MATLAB (.m)* en un diagrama *LabVIEW* para combinar modelos de programación.

Una vez que la señal sale del LNB, pasa al USRP 2900, el cual primeramente tiene un bloque de configuración de parámetros en este caso de recepción (la ganancia de la antena, la frecuencia de la portadora, el ancho de banda y el puerto de antena activo) y luego pasa al demodulador QPSK ([Figura 35](#)). Se debe tener en cuenta que, dependiendo de si la carga útil de MAMES es un mensaje codificado en CAP el programa que se diseñe para el USRP debe poder decodificar ambos mensajes (MAMES y CAP). En aras de hacer más sencillo el programa de recepción se puede utilizar la variante, siempre que la urgencia de la alerta lo permita, de decodificar el mensaje CAP enviado por CNA en los Centros de Telemetría y Control y solo enviar en la carga útil de MAMES, protocolos de alertas básicos (textos, audios, etc.)

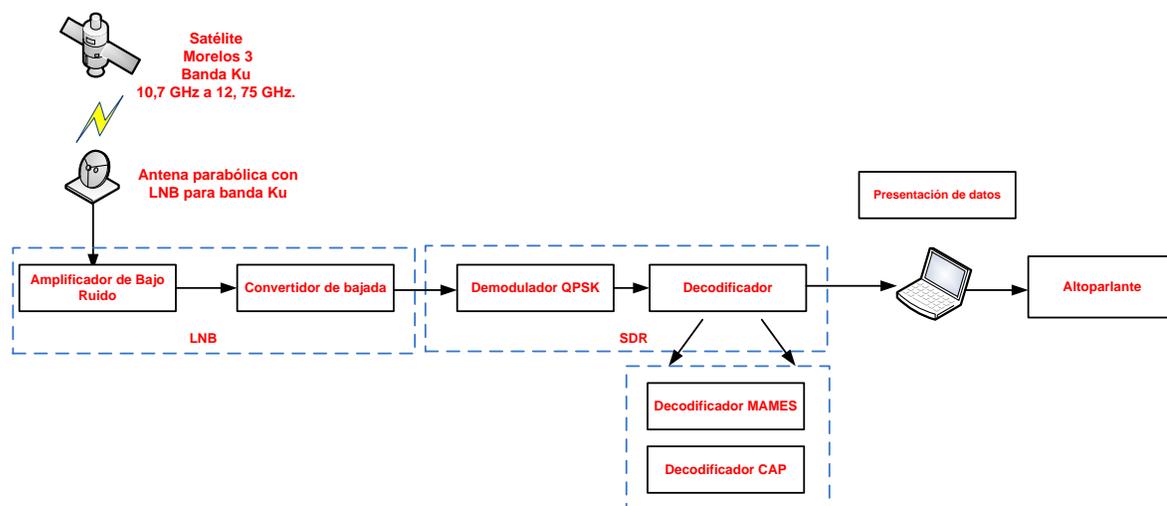


Figura 35. Diagrama sistema recepción SAE satelital

Básicamente este sistema de recepción de alertas estará en comunidades donde número de habitantes así lo justifique, por ejemplo, como localidades con entre 1001 y 10000 habitantes (en 2018 había 135 localidades sin servicio de radiodifusión con este margen de habitantes) [76]. Además, debe contar con alimentación eléctrica y respaldo energético, para que no se vea afectado por cortes del flujo eléctrico; ejemplo de estos sistemas de respaldo podrían ser grupos electrógenos o paneles solares.

5.8 Comparación entre la Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México y los Lineamientos del PAC

Durante el desarrollo de esta investigación el IFT publicó los “Lineamientos del PAC” encaminados a crear un SEA en México. Como era de esperar existen puntos de coincidencia entre el esquema de transmisión de alertas de los “Lineamientos del PAC” y el sistema propuesto en este trabajo de tesis. Este apartado tiene como finalidad comparar la propuesta del IFT con la propuesta realizada en la presente tesis.

En ambos casos, con el fin de disminuir las pérdidas de vidas humanas y/o otras afectaciones, se persigue realizar un mejor uso de los sistemas de comunicaciones existentes en el país para transmitir alertas de emergencias con integridad, confiabilidad y autenticidad. De manera general en ambas se propone un sistema centralizado para la transmisión de alertas gestionado por la Coordinación Nacional de Protección Civil como entidad gubernamental responsable de la recolección, validación y transmisión de alertas a los principales autorizados y concesionarios de servicios de comunicaciones. Se destacan algunas diferencias entre los mecanismos de difusión de alertas y en los beneficios que aportan cada uno de estos documentos.

En la [Tabla 5](#) se pueden observar los elementos similares y diferentes entre la Propuesta de un Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México realizada en este trabajo y los Lineamientos del PAC.

Tabla 5. Comparación Lineamientos del PAC y Propuesta SAE Integral para México

Elementos a comparar	Lineamientos del PAC	Propuesta de un SAE Integral para México
Documento que recoge la propuesta	Documento aprobado por la IFT y publicado en el DOF con fecha 30 de enero del 2020 [49].	Tesis de Maestría en Telecomunicaciones. Posgrado Ingeniería.
Enfoque de la propuesta	Se enfoca principalmente en proveer certeza jurídica en relación a los procedimientos requisitos y plazos para la transmisión de los mensajes de alerta mediante el servicio de radiodifusión, móvil, y de televisión y audio restringidos [49].	Se enfoca principalmente en proveer certeza técnica sobre las posibilidades de implementación y funcionamiento de las principales tecnologías y estándares de los sistemas móviles, de radiodifusión y satelitales relacionados con la transmisión de alertas en situaciones de emergencia.
Principales Beneficios (Semejanzas)	<ul style="list-style-type: none"> • Utilización del protocolo CAP para la transmisión de Mensajes de Alertas entre la entidad gubernamental y los concesionarios o autorizados de sistemas de comunicaciones. • Comprobar la información difundida en los mensajes de alerta a la ciudadanía. • Aumentar el uso de servicios para la transmisión de mensajes de alerta, como son: el servicio móvil (Con CBS) y el de radiodifusión. 	
Mecanismos de difusión	Móvil (Aplicación), Móvil (CBS), Radiodifusión, Televisión y Audio restringidos.	Móvil (CBS), Radiodifusión, Televisión y Sistema Satelital.
Inclusión de futuros desarrollos de las tecnologías de comunicaciones en el sistema de alerta propuesto	No.	Si. Estas serían 5G para redes móviles, ATSC 3.0 para televisión y IBOC para radio.

Entre las principales diferencias se puede observar que la propuesta de los “Lineamientos del PAC” incluye la transmisión de alertas a través de una aplicación. Esa solución no fue considerada en esta propuesta porque al ser necesario la instalación de las mismas por parte del usuario, conllevaría a otros gastos en campañas informativas para que el usuario la conozca y comprenda la importancia de instalarla. Se recuerda que algo similar ya se debe hacer para que activen CBS, por lo que sería un costo añadido. Además, no deben desestimarse los posibles ataques de negación de servicio que pueden afectar las capacidades de respuesta de la aplicación bajo determinadas circunstancias.

Otra de las grandes diferencias, es que en este trabajo de tesis se propone un sistema de recepción satelital, que más allá del alcance de la televisión satelital (la cual depende del nivel adquisitivo del usuario para acceder equipos de recepción satelital), está pensado para brindar servicios a

comunidades aisladas y por medio del sistema de recepción propuesto alertarían de la eminencia de una situación de emergencia a una localidad determinada. De igual forma es importante señalar que esta investigación al ser un trabajo de tesis tiene libertad de ver hacia el futuro, mientras que una normatividad debe normar las tecnologías actuales, razón por la cual en los “Lineamientos del PAC”, no hace alusión a tecnologías como ATSC 3.0, IBOC o 5G.

Los elementos a comparar fueron seleccionados con el fin de dar una visión general sobre el alcance de ambos documentos. Como autor de este trabajo de tesis, considero importante señalar que esta tesis se concibió en un escenario anterior a la publicación de los “Lineamientos del PAC”, y que la posterior publicación de los mismos demuestra la existencia de una necesidad y de un interés gubernamental para apoyar la masiva utilización de los medios de comunicación en la difusión de alertas de emergencias. Dado que el marcado carácter jurídico de los Lineamientos del PAC, ambos documentos podrían complementarse para el desarrollo de un SAE integral para México.

6 Conclusiones

En aras de proponer un Sistema de Alerta de Emergencia Integral para México completo y de futuro basado en medios de comunicaciones existentes y/o no existentes, pensando en la situación tecnológica, geográfica, y política tanto actual como futura del país, de forma que se pueda ir desarrollando en unos años, y tenga una cobertura nacional, fue necesario estudiar los principales sistemas de alertas para situaciones de emergencias existentes en México, algunos de los sistemas de emergencia en funcionamiento en varios países del mundo (Estados Unidos, Canadá, Japón y Suecia entre otros), así como las bondades para la transmisión de alertas de emergencia que brindan las redes móviles, la radiodifusión y los sistemas satelitales.

México cuenta con una importante red de instituciones gubernamentales y privadas que generan alertas públicas para una gran variedad de posibles eventos catastróficos. El método más extendido para distribuir estas alertas son los medios de comunicación mediante boletines de prensa. Existe un exitoso sistema de alerta de terremotos, el SASMEX, pero su cobertura se limita a algunas grandes ciudades. La transmisión de alertas de emergencias está limitada por la falta de una plataforma oficial que se encargue de validar y distribuir las alertas a la población en general. Otro factor negativo de los sistemas de alerta actuales, son las tecnologías de transmisión utilizadas y su alcance, ya que gran parte de la población mexicana que vive en zonas rurales no tiene acceso a estos medios de comunicación, por lo que son vulnerables a la ocurrencia de desastres por desinformación.

Por ello, en este trabajo se definió un Sistema Integral de Alerta de Emergencias para México que pudiera cubrir a toda la población y sea capaz de distribuir todos los tipos de emergencias, tal y como indica la ONU.

En el EAS Integral propuesto se define el flujo de información desde sistema de monitoreo y emisión de alertas compuestos por instituciones gubernamentales y privadas hasta la recepción de alertas por parte de la población. La Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC) es la institución recomendada para la recolección, validación y transmisión de alertas a los Concesionarios y Autorizados de los servicios de telecomunicaciones, y por tanto a la población en general.

En la transmisión de información entre el CNPC y las empresas de telecomunicación se recomendó el uso del Protocolo de Alerta Común, el cual es un protocolo estandarizado internacionalmente para intercambiar alertas de emergencia y advertencias públicas sobre todo tipo de redes y se basa en la definición de esquema XML.

La propuesta incluye las principales tecnologías de redes móviles (2G, 3G, 4G y 5G), radio (AM, FM e IBOC) y televisión (TDT). Para cada una de estas tecnologías se realizaron esquemas independientes, donde se especificó las necesidades del sistema para que cumplieran los objetivos propuestos, la forma del sistema de transmisión, los estándares a utilizar, los aspectos técnicos de los mismos, que pueden ser utilizados en el SAE y las características de recepción de las alertas.

En el caso de las redes celulares se propuso el sistema *Cell Broadcasting Service* (CBS), el cual es compatible con tecnologías actuales como 2G, 3G, 4G y tecnologías en desarrollo como 5G. Este sistema es ampliamente utilizado en otros sistemas de alertas en diferentes partes del mundo y permite geolocalización y la transmisión de mensajes de alertas en modo *broadcast*, prácticamente en tiempo real y sin congestión. Para la televisión digital la propuesta incluye los estándares ATSC A/53, ATSC A/153 y ATSC A/300 como soluciones para corto, mediano y largo plazo respectivamente, dado que tanto la implementación de ATSC A/153 como para ATSC A/300 conllevaría un cambio en el sistema de transmisión de la televisión digital. Los mensajes serían visualizados por parte del usuario desde *closed caption* (ATSC A/53), incluye el encendido automático de receptores (A/153) y mensajes multimedia en tiempo real (A/300), en dependencia del estándar que se utilice. Para la radio, la propuesta abarca soluciones para AM, FM e IBOC. Tanto AM como FM permiten la transmisión de alertas a través de mensajes de voz, previa interrupción de la programación. Las mejores prestaciones en la transmisión de alertas las ofrecen la radio analógica FM con el estándar *Radio Data System* y la radio digital (tanto en AM como FM) con el estándar IBOC (nombre comercial es HD Radio). Este último estándar presenta una baja penetración en la población, pero al ser una tecnología relativamente nueva, se espera que aumente su importancia en los próximos años.

En la parte final de la propuesta se incluye una solución para las zonas del país donde la población no tiene acceso a los servicios de comunicaciones celular ni de radiodifusión. El sistema satelital sería un nuevo sistema a implementar, que incluye la utilización del protocolo MAMES y del Sistema Satelital Mexicano. Este sistema también haría uso del protocolo CAP para transmitir las alertas.

Para que el EAS Integral sea eficaz, es fundamental que esté integrado en las políticas de mitigación de desastres. Esta es la razón por la que se estudió el marco normativo de las comunicaciones de emergencia, en especial de los “Lineamientos del PAC”. La publicación de este documento demuestra la necesidad existente en México de una normativa que apoye la creación de un sistema de alerta integral basado en los principales medios de comunicación.

La propuesta del SAE integral para México se adapta a las directrices de los “Lineamientos del PAC”, y aporta ideas complementarias. Con los aportes de este trabajo de investigación se obtiene una herramienta de gran funcionalidad para la mitigación de desastres y la preservación de la vida y los recursos materiales.

7 Bibliografía

- [1] C. Zavaza, *Compendio de los trabajos de la UIT sobre Telecomunicaciones de Emergencia*, 2007th ed. Ginebra: Union Internacional de Telecomunicaciones, 2007.
- [2] UIT, *Manual sobre telecomunicaciones de emergencia*. Ginebra: Union Internacional de Telecomunicaciones, 2005.
- [3] M. González and S. Figueras, “El Tsunami de Sumatra del 26 de Diciembre de 2004,” *Enseñanza las ciencias la tierra Rev. la Asoc. Española para la Enseñanza las Ciencias la Tierra*, vol. 13, no. 1, pp. 2–14, 2005, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/28252237_El_Tsunami_de_Sumatra_del_26_de_Diciembre_de_2004.
- [4] UIT-R, *Emergencia y socorro en caso de catastrofes*. Ginebra: Union Internacional de Telecomunicaciones, 2006.
- [5] G. Castelán Pescina, “Sistemas de Alerta Temprana,” Centro Nacional de Protección Civil, Ciudad de Mexico, 2019.
- [6] A. Recaséns Bolongaro Crevenna, “Estudio de vulnerabilidad al cambio climatico en diez destinos turísticos seleccionados,” Academia Nacional de Investigación y Desarrollo A.C. “Anidando, 2016.
- [7] E. M. Silva Chuquillanqui, A. J. Llanos García, R. Paucar Curasma, and D. Diaz Ataucuri, “Study of emergency warning broadcasting systems,” 2015.
- [8] J. M. E. Aranda *et al.*, “Mexico City Seismic Alert System,” vol. 66, no. 6, pp. 42–53, 1995.
- [9] IFT, “Anteproyecto de Lineamientos de establecen el Protocolo de alerta Común conforme al Lineamiento cuadragésimo noveno de los lineamientos de colaboración en materia de seguridad y justicia publicado en el diario oficial de la federación el 2 de diciembre de,” Instituto Federal de Telecomunicaciones, Ciudad de México, 2015.
- [10] GSMA, “Sistemas de Alertas Públicas en Redes Móviles y el auge de la Transmisión Móvil,” 2012.
- [11] B. Vivier, C. Van Arum, A. Grangeat, and P. Gómez, “Public Warning Systems update,” 2019.
- [12] Poder Ejecutivo, “Manual de Organización y Operación del Sistema Nacional de Protección Civil,” *D. Of. la República*, 2018, [Online]. Available: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla/n4.pdf>.
- [13] Cámara de diputados del H. congreso de la Unión and Secretaria de Servicios Parlamentarios, “Ley Orgánica de la Administración Pública Federal,” *DOF 22-01-2020*, pp. 1–152, 2020.
- [14] “Página web SSN.” Accessed: Aug. 15, 2019. [Online]. Available:

<http://www.sismologico.unam.mx/acerca-de/historia/>.

- [15] “Página web CIRES.” Accessed: May 23, 2019. [Online]. Available: http://www.cires.org.mx/cires_es.php.
- [16] Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES), “El Sistema de Alerta Sísmica para la Ciudad de México,” *Ing. Civ.*, vol. 310, pp. 17–22, 1995.
- [17] G. Suárez and V. García-Acosta, *UNISDR Scientific and Technical Advisory Group Case Studies – 2014 The seismic alert system in Mexico City: an example of a successful Early Warning System (EWS)*, vol. 80, no. September 1985. 2014, p. 1.
- [18] CNPC, “Sistema de Alerta temprana para Ciclones tropicales. SIAT-CT,” 2019. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428441/MANUAL_SIAT_CT_2019.pdf.
- [19] J. M. Montoya Rodríguez, M. Ortiz Figueroa, and L. I. Martínez de Pinillos, “Diseño de un Sistema de Alerta de Tsunamis para la Costa Occidental de México,” 2013.
- [20] M. Á. Osorio Chong, L. F. Puente Espinosa, and C. M. Valdéz González, “Tsunamis,” *Serie Fascículos. Secretaría de Gobernación*, p. 42, 2005.
- [21] IMSS, “Plan Institucional de Preparación y Respuesta Frente a Tsunamis,” 2018. [Online]. Available: <http://cvoed.imss.gob.mx/wp-content/uploads/2015/02/Plan-tsunami-IMSS.pdf>.
- [22] D. J. Vega-Nieva, J. Briseño-Reyes, M. G. Nava-Miranda, M. I. Cruz-López, and E. Calleros-Flores, “Developing Models to Predict the Number of Fire Hotspots from an Accumulated Fuel Dryness Index by Vegetation Type and Region in Mexico,” *Forests*, vol. 190, pp. 1–18, 2018, doi: 10.3390/f9040190.
- [23] “Página Web SMN.” Accessed: Aug. 15, 2019. [Online]. Available: <https://smn.conagua.gob.mx/es/smn/funciones-y-objetivos>.
- [24] “Página Web SCIESMEX.” Accessed: Aug. 15, 2019. [Online]. Available: [disponible: http://www.sciesmex.unam.mx/historia/](http://www.sciesmex.unam.mx/historia/).
- [25] J. A. González *et al.*, “El Servicio de Clima Espacial Mexico y el Sistema de Alerta Temprana,” 2015.
- [26] 5G Americas, “Public Warning Systems in the Americas,” 2018. [Online]. Available: https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/Public_Warning_Systems_Americas_WhitePaper___Final_for_distribution.pdf.
- [27] UIT, “Tampere Convention on the Provision of Telecommunication Resources for Disaster Mitigation and Relief Operations,” 1998. [Online]. Available: <https://www.ifrc.org/Docs/idrl/I271EN.pdf>.
- [28] “Página Web UIT.” Accessed: Oct. 25, 2019. [Online]. Available: <https://www.itu.int/itu-news/manager/display.asp?lang=es&year=2007&issue=10&ipage=tampereConvention&ext=html>.

- [29] UIT, “Informe final,” in *Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones. (CMTD-02)*, 2002, p. 168.
- [30] UIT, *Actas finales de la Conferencia de Plenipotenciarios (Marrakech, 2002)*. 2002, p. 163.
- [31] UIT, “ACTAS FINALES CMR-03,” in *Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (Ginebra, 2003) (UIT)*, 2003, p. 490, [Online]. Available: [https://aplicaciones.sre.gob.mx/tratados/ARCHIVOS/UIT\(CMR-2003\).pdf](https://aplicaciones.sre.gob.mx/tratados/ARCHIVOS/UIT(CMR-2003).pdf).
- [32] E. Jones and J. Westfall, “Common Alerting Protocol Version 1 . 2,” *OASIS Stand.*, no. July, pp. 1–47, 2010, [Online]. Available: <http://docs.oasis-open.org/emergency/cap/v1.2/CAP-v1.2.pdf>.
- [33] UIT-R, “RECOMENDACIÓN UIT-R M . 1822 Marco para los servicios soportados por las IMT,” 2007. [Online]. Available: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1822-0-200710-I!!PDF-S.pdf.
- [34] ETSI, “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Technical realization of Cell Broadcast Service (CBS) (3GPP TS 23.041 version 14.1.0 Release 14),” 2017. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123000_123099/123041/14.01.00_60/ts_123041v140100p.pdf.
- [35] UIT-R, “Recomendación UIT-R BT.1774-2. Utilización de las infraestructuras de radiodifusión por satélite y terrenal para alertar a la población , mitigar los efectos de las catástrofes y facilitar las operaciones de socorro,” 2015. [Online]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bt/R-REC-BT.1774-2-201510-I!!PDF-S.pdf.
- [36] ONU and CEPREDENAC, “Uso de Información Satelital en sistemas de alerta temprana en América Central,” 2014. [Online]. Available: <https://un-spider.org/sites/default/files/Reporte RCE ONU SPIDER CEPREDENAC 300514.pdf>.
- [37] IFT, “Plan de reacción de comunicaciones en situaciones de emergencia,” Ciudad de México. [Online]. Available: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/industria/plandereacciondecomunicacionesensituacionesdeemergenciaacc.pdf>.
- [38] European Committee for Electrotechnical Standardization, “Specification of the radio data system (RDS) for VHF/FM sound broadcasting in the frequency range from 87,5 to 108,0 MHz Spécifications,” 1998. [Online]. Available: http://www.interactive-radio-system.com/docs/EN50067_RDS_Standard.pdf.
- [39] D. Kopitz and B. Marks, *RDS : The Radio Data System*. 1999.
- [40] C. H. López Ortega, “Sistemas de Alerta de Emergencia para Televisión Digital,” Universidad Nacional Autónoma de México, 2018.
- [41] S. Abrahamiantsc, “EIA-608 and EIA-708 Closed Captioning,” p. 4, 2006, [Online]. Available: https://evertz.com/resources/eia_608_708_cc.pdf.
- [42] J. I. MANOBANDA GUAMÁN, “Estudio de ingeniería de la transición de televisión analógica a digital de Ambavisión canal 2de la ciudad de Ambato,” ESCUELA SUPERIOR

POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2018.

- [43] ATSC, “A / 53 : ATSC Digital Television Standard , Parts 1 - 6 , 2007,” Washington, D.C., United States, 2007. [Online]. Available: https://www.atsc.org/wp-content/uploads/2015/03/a_53-Part-1-6-2007.pdf.
- [44] ATSC, “ATSC Mobile DTV Standard : A / 153 Part 1 , ATSC Mobile DTV System,” Washington, D.C., 2013. [Online]. Available: <https://www.atsc.org/wp-content/uploads/2015/03/A153-Part-1-2013-1.pdf>.
- [45] ETSI, “Satellite Earth Stations and Systems (SES); Satellite Emergency Communications ; Multiple Alert Message Encapsulation over Satellite (MAMES),” 2015. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103337/01.01.01_60/ts_103337v010101p.pdf.
- [46] ETSI, “Satellite Earth Stations and Systems (SES); Satellite Emergency Communications (SatEC); Multiple Alert Message Encapsulation over Satellite (MAMES) deployment guidelines,” 2015. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_TR/103300_103399/103338/01.01.01_60/tr_103338v010101p.pdf.
- [47] “Guide to Implementing the Integrated Public Alert and Warning System (IPAWS). Version 2,” 2019. [Online]. Available: https://www.cseppportal.net/Training Documents/IPAWS_Implementation_Guide_Final_FEB2019_Version_2.pdf.
- [48] Telecommunication Standardization Sector of ITU, “Recommendation ITU-T X.1303 bis. Common alerting protocol (CAP 1.2).,” 2014. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-X.1303bis-201403-I>.
- [49] IFT, “Lineamientos que establecen el Protocolo de Alerta Común conforme al lineamiento cuadragésimo noveno de los Lineamientos de Colaboración en Materia de Seguridad y Justicia.,” *DOF 30-01-2020*, 2020.
- [50] IFT, “Estudio sobre la factibilidad de la implementación,” 2019. [Online]. Available: <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/politica-regulatoria/estudiosobrelafactibilidaddelaimplementacionderadiodigitalymultiprogramacionemexico.pdf>.
- [51] UIT-R, “Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos , portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3000 MHz,” 2019. [Online]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1114-11-201906-I!!PDF-S.pdf.
- [52] ETSI, “Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers,” 2016. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/300400_300499/300401/02.01.01_20/en_300401v020101a.pdf.
- [53] NRSC, “NRSC-5-D In-band/on-channel Digital Radio Broadcasting Standard,” 2017. [Online]. Available: <https://www.nrscstandards.org/standards-and-guidelines/documents/standards/nrsc-5-d/nrsc-5-d.pdf>.

- [54] UIT-R, “Necesidades del servicio relativo a la radiodifusión sonora digital para receptores a bordo de vehículos , portátiles y fijos , mediante transmisores terrenales , en las bandas de ondas métricas y decimétricas .,” 2014. [Online]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.774-4-201406-I!!PDF-S.pdf.
- [55] ETSI, “ES 201 980 - V3.1.1. Digital Radio Mondiale (DRM); System Specification,” 2009. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_es/201900_201999/201980/03.01.01_50/es_201980v030101m.pdf.
- [56] Xperi Corporation, “Upgrading the emergency alerts system: HD Radio digital emergency alerting,” 2019. [Online]. Available: <http://www.insideradio.com/app/Image2019/EASHD.pdf>.
- [57] C. F. de Telecomunicaciones, “Lineamientos para la transición a la Radio Digital Terrestre (RDT), de las estaciones de radiodifusión sonora ubicadas dentro de la zona de 320 kilómetros de la frontera Norte de México,” *DOF 14-05-2008*, 2008.
- [58] IFT, “Lineamientos Generales para el acceso a la Multiprogramación.,” *DOF 17-02-2015*, 2015.
- [59] IFT, “Lineamientos mediante los cuales el Instituto Federal de Telecomunicaciones establece los criterios para el cambio de frecuencias de estaciones de Radiodifusión Sonora que operan en la banda de amplitud modulada a frecuencia modulada,” *DOF 24-11-2016*, 2016.
- [60] X. Botran Fernández, “Estudio para la planificación de redes de radiodifusión segun el estandar ATSC 3.0,” Universidad del País Vasco, 2019.
- [61] ATSC, “ATSC Standard: ATSC 3.0 System Doc.,” 2019. [Online]. Available: <https://www.atsc.org/wp-content/uploads/2017/10/A300-2019-ATSC-3-System-Standard.pdf>.
- [62] CSRIC, “Final Report – Comprehensive Re-imagining of Emergency Alerting,” 2018. [Online]. Available: <https://www.fcc.gov/file/14854/download>.
- [63] ATSC, “ATSC Candidate Standard Revision : Signaling , Delivery , Synchronization , and Error Protection,” Washington, D.C., 2019. [Online]. Available: <https://www.atsc.org/wp-content/uploads/2018/05/A331S33-1-951r14-CS-Revision-Signaling-Delivery-Synchronization-and-Error-Protection.pdf>.
- [64] UIT, “Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y desafíos,” 2018. [Online]. Available: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.5G_01-2018-PDF-S.pdf.
- [65] UIT-R, “Recomendación UIT-R M.2083-0. Concepción de las IMT – Marco y objetivos generales del futuro desarrollo de las IMT para 2020 y en adelante,” 2015. [Online]. Available: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-I!!PDF-S.pdf.
- [66] Secretaría de Comunicaciones y Transporte, “Transición a 5G : ¿ Estamos preparados ?,” 2019. [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/479509/doc_base_transicion_a_5g_estamos_preparados.pdf.

- [67] ETSI, “5G System; Access and Mobility Management Services; Stage 3 (3GPP TS 29.518 version 15.1.0 Release 15),” 2018. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/129500_129599/129518/15.01.00_60/ts_129518v150100p.pdf.
- [68] ETSI, “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G; Release description; Release 15 (3GPP TR 21.915 version 15.0.0 Release 15),” 2019. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/121900_121999/121915/15.00.00_60/tr_121915v150000p.pdf.
- [69] 5G Americas, “5G Regulatory Policy Considerations & Spectrum Sharing,” 2017. [Online]. Available: https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2019/07/5G_Regulatory_Policy_Considerations_and_Spectrum_Sharing_WP_FINAL_for_upload.pdf.
- [70] INEGI, *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2019*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2019.
- [71] Cámara de diputados del H. congreso de la Unión Secretaria de Servicios Parlamentarios, “Ley federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión,” *DOF 24-01-2020*, pp. 1–152, 2020.
- [72] IFT.Unidad de Espectro Radioeléctrico, “Estudio de Cobertura de los Servicios de Radiodifusión en México,” 2018. [Online]. Available: http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/Cobertura_de_los_servicios_de_radiodifusion_en_Mexico.pdf.
- [73] WMO, “Guidelines for Implementation of Common Alerting Protocol (CAP)-Enabled Emergency Alerting,” 2013. [Online]. Available: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3431.
- [74] Secretaría de Comunicaciones y Transportes, “Programa de Cobertura Social,” 2019. [Online]. Available: http://www.dof.gob.mx/2019/SCT/programa_de_cobertura_social_2019.pdf.
- [75] ETSI, “Emergency Communications (EMTEL); European Public Warning System (EU-ALERT) using the Cell Broadcast Service,” 2019. [Online]. Available: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102900_102999/102900/01.03.01_60/ts_102900v010301p.pdf.
- [76] INEGI, “Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2019.,” 2020. [Online]. Available: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/OtrTemEcon/ENDUTIH_2019.pdf.
- [77] IFT, “Política para la Transición a la Televisión Digital Terrestre.,” *DOF 11-09-2014*, 2014.
- [78] ATSC, “ATSC Mobile DTV Standard : A / 153 Part 10 , Mobile Emergency Alert System,” 2013. [Online]. Available: <https://www.atsc.org/wp-content/uploads/2015/03/A153-Part-10-2013-2.pdf>.

- [79] NRCS, *United States RBDS Standard*. 1998.
- [80] Gobierno de la República, *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. 2018.
- [81] IFT, “Mapa de satélites geoestacionarios con huella en México.” Accessed: Feb. 12, 2020. [Online]. Available: <http://mapasatelital.ift.org.mx/#>.
- [82] J. A. Cabrera, “Clasificación de los servicios satelitales,” *Hacia el Espac.*, vol. 83, 2014, [Online]. Available: <http://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=87>.
- [83] L. MENDIETA DAZA, L. CANO ROMERO, and R. FERRO ESCOBAR, “Diseño de un transreceptor SDR de bajo coste basado en ingeniería del software para el seguimiento de pequeños satélites en orbita LEO,” *Redes Ing.*, pp. 24–31.
- [84] Engineer Ambitiously, “Dispositivo de Radio Definido por Software USRP.” Accessed: May 22, 2020. [Online]. Available: <https://www.ni.com/es-mx/shop/hardware/products/usrp-software-defined-radio-device.html>.
- [85] Neri Rendón, “Sistemas de Comunicación.” Accessed: Dic. 12, 2020. [Online]. Available: <https://www.aiu.edu/spanish/publications/student/spanish/Comunicacion%20de%20Systemas.html#:~:text=Sat%C3%A9lites%20de%20Comunicaciones%3B%20Permiten%20la,aviones%20a%20determinar%20su%20posici%C3%B3n>.