

Maestría en Ingeniería Electrónica



VIGILADA MINEDUCACIÓN

**Diseño de una Red de Comunicaciones Autoridad-Autoridad del
Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia (SNTE)
de Colombia para Cundinamarca**

Ingeniero Alexander Gordillo Gaitán

Bogotá, D.C., 4 de junio del 2019

**Diseño de una Red de Comunicaciones Autoridad-Autoridad del
Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia (SNTE)
de Colombia para Cundinamarca**

**Tesis para optar al título de Magíster en Ingeniería Electrónica,
con énfasis en Telecomunicaciones**

Director:

Ingeniero Guillermo Teuta Gómez, MSc

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá, D.C., 4 de junio del 2019

La tesis de maestría titulada Diseño de una Red de Comunicaciones Autoridad-Autoridad del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia (SNTE) de Colombia para Cundinamarca, presentada por el ingeniero Alexander Gordillo Gaitán, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Electrónica con énfasis en Telecomunicaciones

Jurado 1

Jurado 2

Ing. Guillermo Teuta Gómez, MSc.

Fecha de aceptación del trabajo de grado por parte del jurado

Dedicatoria

*A mis padres por haberme forjado como soy en la actualidad,
su educación, amor y apoyo dado por siempre.
Sus enseñanzas, sacrificios y sabiduría me han hecho crecer como persona.*

*En memoria de mi padre que me enseñó que la paciencia y la sabiduría,
es el camino para una vida en armonía con la naturaleza.*

Agradecimientos

A mis formadores, personas de gran sabiduría que dieron sus conocimientos y experiencias para que creciera cada día como profesional.

Mi más sincero agradecimiento al director del proyecto de maestría, el ingeniero Guillermo Teuta Gómez por su paciencia y dedicación durante todo este proceso, quién con su dirección, conocimiento y enseñanza permitió el desarrollo de este trabajo

Resumen

Las comunicaciones son la columna vertebral para la coordinación y atención de emergencias y desastres, hoy por hoy, las Autoridades de Cundinamarca no cuentan con redes de comunicación diseñadas para una misión crítica. El presente proyecto describe el diseño de una red de comunicaciones Autoridad-Autoridad a partir del paradigma de redes híbridas, tales que permiten la integración de las redes de comunicación, una alta disponibilidad y una mayor redundancia de las principales Autoridades coordinadoras y atención de emergencias de Cundinamarca.

La metodología del proyecto incluye una revisión bibliográfica y del estado tecnológico de las redes de telecomunicaciones de emergencia de éxito internacional, un diagnóstico y análisis del estado actual de las redes y equipos de comunicaciones de las principales Autoridades de Cundinamarca, el diseño de la red de telecomunicaciones Autoridad-Autoridad, teniendo en cuenta las características, los componentes y el funcionamiento requerido a partir del análisis de la información documentada en el diagnóstico. Finalmente se realiza una prueba piloto con las principales Autoridades de Cundinamarca para validar los parámetros del diseño.

En conclusión, el diseño de la red con características híbridas permitiría abarcar nuevas tendencias tecnológicas para la comunicación entre Autoridades empleando la tecnología de protocolo P-25. La integración de las comunicaciones en una misma red, optimiza la gestión de las instituciones de atención y coordinación de emergencias. Es importante destacar que lo anterior va de la mano con una adecuada gestión y administración institucional para llegar a implementar poco a poco esta solución

Índice General

Capítulo 1: Formulación del Proyecto de Investigación.....	1
1.1 Preguntas de Investigación.....	3
1.2 Objetivo General.....	3
1.3 Objetivos Específicos	4
1.4 Metodología.....	4
Capítulo 2: Marco Referencial	7
2.1 Telecomunicaciones de Emergencias en el Ámbito Internacional.....	7
2.2 Telecomunicaciones de Emergencia en Colombia.....	13
2.3 Marco Regulatorio Internacional	17
2.4 Tendencias Futuras de las Redes de Emergencia Internacionales.....	22
Capítulo 3: Estándares, Tecnologías y Casos de Éxito Internacionales.....	26
3.1 Sistemas Troncalizados.....	27
3.2 Estándares Americano y Europeo	28
3.2.1 Estándar Americano Project 25 - P-25.....	28
3.2.2 Estándar Europeo TETRA	29
3.2.3 Estándar Europeo TETRAPOL.....	30
3.3 Tecnologías y Redes para Sistemas de Emergencias.....	31
3.3.1 Redes Ad Hoc y redes Mesh	31
3.3.2 High Altitude Platforms Station - HAPS.....	34
3.4 Casos de Éxito Internacionales para Sistemas de Emergencia	37
3.4.1 Europa.....	37
3.4.2 Norteamérica	41
3.4.3 Latinoamérica.....	43

Capítulo 4: Diagnóstico y Análisis de la RTE de Cundinamarca e Identificación de Requerimientos de Diseño.....	45
4.1 Estado Actual de las Telecomunicaciones de Emergencia de las Principales Autoridades de Cundinamarca.....	45
4.1.1 Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD.....	45
4.1.2 Gestión del Riesgo de Cundinamarca	46
4.1.3 Delegación Departamental Bomberos de Cundinamarca	48
4.1.4 Puesto de Mando Unificado - PMU.....	50
4.1.5 Defensa Civil Colombiana.....	50
4.1.6 Fuerzas Militares	52
4.1.7 Centro Regulador de Urgencias y Emergencias – CRUE	53
4.1.8 Cruz Roja Colombiana.....	53
4.2 Simulación y Análisis	55
4.3 Requerimientos para el Diseño de la Red de Telecomunicaciones de Emergencias	60
4.3.1 Requisitos técnicos.....	60
4.3.2 Requisitos operativos	61
4.3.3 Requisitos administrativos	64
4.3.4 Prioridad de comunicación en una emergencia	64
Capítulo 5: Diseño de una Red Regional Integrada y Prueba Piloto en Cundinamarca	70
5.1 Bases del Diseño de la Red.....	70
5.2 Descripción de la Arquitectura	71
5.3 Diseño de la Red de Telecomunicaciones de Emergencia Autoridad-Autoridad para Cundinamarca.....	72
5.3.1 Core network P-25.....	75
5.3.2 Estación base/repetidor	76
5.3.3 Consola de despacho MCC 7500E IP	77

5.4 Prueba Piloto con el Diseño de la Red de Telecomunicaciones de Emergencia	78
5.4.1 Planeación y programación de la prueba piloto	78
5.4.2 Ejecución de la prueba piloto	80
5.4.3 Análisis y resultados de la simulación.....	81
Conclusiones y Recomendaciones	85
Referencias Bibliográficas	88
Glosario	92
Anexo 1: Recolección de Información Primaria de las Autoridades.....	94
Anexo 2: Ubicación de las Repetidoras de las Autoridades de Cundinamarca	97
Anexo 3: Puesto de Mando Unificado (PMU) para las Elecciones del Día 27 de mayo del 2018	100
Anexo 4: Flujograma de Actuación en Emergencias.....	103
Anexo 5: Ubicación Física de las Principales Autoridades Coordinadoras de Cundinamarca	106
Anexo 6: Cobertura de las Repetidoras de las Principales Autoridades de Cundinamarca	107
Anexo 7: Protocolos y Formato de Resultados para la Prueba Piloto	110
Anexo 8: Memorias de la Prueba Piloto	115
Anexo 9: Datos Registrados por la Consola de Monitoreo de Comunicaciones del CRUE Durante la Prueba Piloto.....	131

Lista de figuras

Figura 1. Metodología del proyecto.....	5
Figura 2. Comunicación de tiempo real para emergencias	9
Figura 3. Estructura de una red de difusión	10
Figura 4. Componentes del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia... 16	
Figura 5. Componente Autoridad-Autoridad.....	16
Figura 6. Mejora de las capacidades fundamentales de las IMT	24
Figura 7. Evolución de las comunicaciones PPDR en 5G	25
Figura 8. Topología red Mesh	32
Figura 9. Escenarios de PPDR sin cobertura o cobertura parcial.....	33
Figura 10. Tecnología HAPS	35
Figura 11. Estructura de la red de emergencia española SIRDEE	40
Figura 12. Arquitectura de la red de emergencias española SIRDEE	40
Figura 13. Arquitectura telecomunicaciones de emergencia en Estados Unidos.....	42
Figura 14. Arquitectura Telecomunicaciones de Emergencia Perú	44
Figura 15. Equipo de comunicaciones de los Bomberos de Cundinamarca	49
Figura 16. Central de telemática de Socorro Nacional - CITEL	54
Figura 17. Diagnóstico de la red de comunicaciones de las Autoridades de Cundinamarca	54
Figura 18. Simulación de cobertura de Gestión del Riesgo y Bomberos	57
Figura 19. Simulación de cobertura de la Defensa Civil de Cundinamarca	58
Figura 20. Simulación de cobertura del CRUE de Cundinamarca	59
Figura 21. Flujos de información entre Autoridades departamentales en una emergencia66	
Figura 22. Flujos de información entre Autoridades municipales en una emergencia	67
Figura 23. Arquitectura de red integrada para telecomunicaciones de emergencia entre Autoridades	71
Figura 24. Diseño comunicaciones de emergencias Autoridad-Autoridad para Cundinamarca	73
Figura 25. Repetidor portátil P-25 PDR 8000	74
Figura 26. Core Astro 25.....	76
Figura 27. Estación base GTR 8000	76

Figura 28. Consola despacho MCC 7500E	77
Figura 29. Diseño de la red de emergencia y desastres de la prueba piloto	79
Figura 30. Proceso desarrollo de la simulación.....	81
Figura 31. Ubicación de repetidoras de CDGR, Bomberos, Defensa Civil y CRUE de Cundinamarca	98
Figura 32. Ubicación de las repetidoras de la Liga Colombiana de Radioaficionados en Cundinamarca	99
Figura 33. Flujograma de actuación de emergencias.....	105
Figura 34. Ubicación de las principales Autoridades coordinadoras de Cundinamarca..	106
Figura 35. Cobertura de las repetidoras de Gestión del Riesgo y Bomberos de Cundinamarca	108
Figura 36. Cobertura de las repetidoras de la Defensa Civil Colombiana de Cundinamarca	109
Figura 37. Diseño comunicaciones de desastres Autoridad-Autoridad para Cundinamarca	116
Figura 38. Simulación de cobertura repetidora Manjui sistema P25.....	116
Figura 39. Diseño red de emergencias y desastres para la prueba piloto	118
Figura 40. Presentación introductoria de la simulación a las Autoridades	123
Figura 41. Infografía sobre tipos de redundancia	124

Lista de Tablas

Tabla 1. Autoridades de Cundinamarca participantes del SNTE	15
Tabla 2. Recomendaciones de la UIT	19
Tabla 3. Recomendaciones de la CITEL.....	20
Tabla 4. Marco normativo colombiano	22
Tabla 5. 5G/IMT 2020 Capacidades clave para soporte a PPDR.....	24
Tabla 6. Diferencias entre Sistemas de Radio Convencionales y Sistemas Troncalizados	27
Tabla 7. Ventajas y desventajas del estándar P-25	29
Tabla 8. Ventajas y desventajas del estándar TETRA	30
Tabla 9. Comparativa de tecnologías.....	36
Tabla 10. Características y servicios de la red SIRDEE	39
Tabla 11. Estado repetidoras de Gestión del Riesgo y Bomberos de Cundinamarca.....	48
Tabla 12. Estado repetidoras de la Defensa Civil de Cundinamarca.....	51
Tabla 13. Estado repetidoras del CRUE de Cundinamarca	53
Tabla 14. Requisitos operativos en comunicaciones de Autoridad-Autoridad	61
Tabla 15. Autoridades responsables en estados de emergencia para Cundinamarca	65
Tabla 16. Niveles de alerta establecido para municipios de Cundinamarca	67
Tabla 17. Comparación de tecnologías con a los requerimientos de servicios entre Autoridades	69
Tabla 18. Relación de uso de los protocolos implementados en la simulación.....	82
Tabla 19. Resultados de parámetros técnicos y administrativos	83
Tabla 20. Contraste del tiempo estimado y empleado en las comunicaciones de la prueba piloto.....	84
Tabla 21. Características de equipos de radio en uso de las Autoridades del SNTE de Cundinamarca	94
Tabla 22. Repetidoras de las Autoridades pertenecientes al SNTE de Cundinamarca	94
Tabla 23. Protocolo de Uso de la Red de Comunicaciones del CRUE	110
Tabla 24. Protocolo de Logística.....	111
Tabla 25. Protocolo de Simulación.....	112
Tabla 26. Protocolo de las Comunicaciones	113

Tabla 27. Formato Informe de Resultados	114
Tabla 28. Rol de cada Autoridad.....	120
Tabla 29. Guion general de la simulación	121
Tabla 30. Consolidado de informes de simulación por parte de las Autoridades.....	126
Tabla 31. Relación de uso de los protocolos implementados en la simulación.....	127
Tabla 32. Análisis parámetros técnicos.....	127
Tabla 33. Contraste del tiempo estimado y empleado en las comunicaciones de la prueba piloto.....	128
Tabla 34. Registro de tiempo de las repetidoras.....	131
Tabla 35. Seguimiento de eventos de la prueba piloto.....	133

Introducción

Las telecomunicaciones de emergencia son vitales en el mundo y, hoy por hoy, con el constante avance técnico y tecnológico los retos son mayores y las expectativas en materia de telecomunicaciones aún más. Es vital mantener las comunicaciones en todo momento y lugar, más aún en momentos de crisis, como lo es una situación de desastre que de forma inesperada transforma las condiciones de un entorno de diversas maneras. En un desastre las comunicaciones convencionales como la telefonía celular colapsan y es prioritario que las Autoridades coordinadoras de atención de emergencias y desastres puedan integrar sus comunicaciones y redes en una única red que pueda responder de forma oportuna, con alta disponibilidad, redundancia y baja latencia para tomar decisiones en el menor tiempo posible.

La industria de las telecomunicaciones y de la información trabaja constantemente en busca de nuevas soluciones para suplir las necesidades de las comunicaciones de emergencias que pueda ser aplicada a cualquier tipo de red, servicios y aplicaciones. Lo anterior permitió realizar una documentación, análisis de las tecnologías y arquitecturas para las telecomunicaciones de emergencia más exitosas a nivel internacional.

La diversidad de normativas, la evolución de la tecnología, las redes y sus servicios, así como el requerimiento de interoperar sobre una plataforma común, hace indispensable examinar todos estos aspectos para obtener soluciones generales e integradoras que se adapten a la realidad de las Autoridades de Cundinamarca.

El diseño de una red de emergencias debe incorporar los parámetros y servicios adecuados, necesarios para implementar un sistema de telecomunicaciones de emergencia, como es el caso de las tecnologías troncalizadas, las cuales proporcionan diferentes opciones de conectividad y funciones de implementación que las comunicaciones convencionales que no poseen.

El informe final de este proyecto de grado está dividido en cinco capítulos, en el Capítulo 1 se presenta la problemática de las telecomunicaciones de emergencia, las preguntas de investigación, la formulación de los objetivos y la metodología aplicada en el desarrollo del proyecto. En el Capítulo 2 se describen las generalidades de las telecomunicaciones de emergencia en el ámbito internacional y nacional con su marco regulatorio y de

recomendaciones internacionales. En el Capítulo 3 se sintetizan los casos de estudios internacionales, la identificación y el análisis de las tecnologías aplicadas con mayor éxito. En el Capítulo 4 describe el diagnóstico actual de las comunicaciones Autoridad-Autoridad de las entidades encargadas de la coordinación y atención de emergencias y desastres en Cundinamarca, así como la identificación de los requerimientos para el diseño de la red de comunicaciones de emergencia. El Capítulo 5 presenta el diseño de la red de comunicaciones Autoridad-Autoridad para las entidades del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia (SNTE) de Cundinamarca, y la validación de los parámetros del diseño de la red con una prueba piloto. Finalmente, se tienen las conclusiones del Trabajo de grado y recomendaciones referentes a estudios posteriores con base a los en los resultados obtenidos en la prueba piloto realizada con las entidades públicas de Cundinamarca.

Capítulo 1: Formulación del Proyecto de Investigación

Las entidades que generan informes, monitorean y son responsables de la Gestión del Riesgo de Emergencias y Desastres, tales como: la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo y Desastres (UNGRD), el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo y Desastres (CDGRD) y el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo y Desastres (CMGRD) han identificado que las oficinas en regiones alejadas de las urbes metropolitanas e incluso dentro de algunas ciudades principales se encuentran incomunicadas, a través de las frecuencias de emergencia identificadas para el país entre las diferentes entidades de Gestión del Riesgo [1]. Esa falta de comunicación o comunicación parcial es una amenaza frente al área de cobertura actual de los dispositivos de comunicación de las principales entidades coordinadoras de Gestión del Riesgo. “El área de cobertura de las telecomunicaciones para la prevención de desastres y emergencias es inferior al área geográfica que ocupa la población que se encuentra en alto riesgo de presentar estados de emergencia y desastre” afirmó el ingeniero Wilson García, Director de la Unidad Especial de Gestión del Riesgo y Desastres (UEGRD) de Cundinamarca. Adicionalmente, el responsable de las comunicaciones del Centro Regulador de Urgencias y Emergencias (CRUE) de Cundinamarca, ingeniero William Bermúdez, informa que “Siendo las comunicaciones la columna vertebral de la atención de una emergencia, las entidades no se encuentran interconectadas con las otras instituciones que intervienen directamente en eventos de desastres, tales como: la Policía Nacional, Bomberos, Ejército Nacional, Defensa Civil, Cruz Roja, etc.”

Actualmente, para suplir las comunicaciones en estados de emergencia y desastre entre entidades de la UNGRD se usan los servicios de los operadores de redes públicas y privadas, las cuales no están diseñadas para una misión crítica, dado que no cuentan con los atributos requeridos para una red de este tipo, como lo son la alta disponibilidad, seguridad física y lógica de la red, redundancia, baja latencia e interoperabilidad con los sistemas de las entidades que intervienen en la atención de dichos eventos, además de “la dependencia de los operadores comerciales en la comunicación entre entidades” informa el director del CRUE de Cundinamarca Carlos María Julio. Adicionalmente, cabe resaltar que en la etapa actual de la SNTE no existe interconexión entre los Proveedores

de Redes y Servicios de Telecomunicaciones (PRST) a una red de emergencias exclusiva propiamente dicha, dado que este aspecto solo se encuentra mencionado en los planes de desarrollo futuro [1]. Además, la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) está avanzando en la regulación de las condiciones y obligaciones de los PRST frente a la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia (RNTE) en cuanto a la priorización del tráfico de la red pública existente, en la categoría de telecomunicaciones Autoridad-Autoridad, gratuidad de comunicaciones y acceso a las redes y servicios [1].

El gobierno nacional en los últimos años ha realizado avances representativos en los procesos de Gestión del Riesgo de Emergencias y Desastres con la inversión coordinada y articulada de entidades públicas, privadas y comunitarias de origen territorial, nacional y de cooperación internacional. Más de 2 billones de pesos invertidos a través de la UNGRD en conocimiento del riesgo, reducción y manejo de desastres en el periodo 2010 - 2014. Eso sin contar con los recursos invertidos a través de Colombia Humanitaria (5,3 billones de pesos) y el Fondo de Adaptación (9 billones de pesos) [2].

No obstante, para el caso particular de la UNGRD ubicada en Bogotá y los CDGRD que se ubican en cada departamento del territorio colombiano solo cuentan con radios en banda HF y VHF desplegados a nivel nacional. “Las entidades regionales y municipales solo se comunican vía celular y correo electrónico con la central en Bogotá, en caso de una emergencia que inhabilite el servicio celular quedaríamos incomunicados” informa el Director de la oficina de Reducción del Riesgo del Departamento del Huila, el Teniente Melvin Lechuga. Se presenta una situación similar entre las entidades de socorro (Cruz Roja Colombiana, Defensa Civil Colombiana y Dirección Departamental de Bomberos). “Actualmente los únicos que tienen comunicación con la oficina de Gestión del Riesgo con radios son los integrantes de la defensa civil, los bomberos usan la telefonía celular para la comunicación con nosotros, y en caso de una emergencia los Bomberos y la Defensa Civil estarían incomunicados”, informa Pedro Tinjaca, Coordinador Departamental de los Bomberos del Huila.

Gracias a las visitas realizadas a las entidades de Gestión del Riesgo regionales de Huila, Tolima y Cundinamarca, se identificaron los siguientes motivos de limitación en temas de redes de emergencia para los organismos de socorro:

- Los elementos de telecomunicaciones son inexistentes, inadecuados o deficientes.
- En los casos en que los elementos existan y sean adecuados podría ser que no se hayan desplegado en forma eficiente.

La CRC por medio del documento Regulación para promover el desarrollo e implementación del sistema nacional de telecomunicaciones de emergencias en Colombia del 2016 [1] y el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTic) con el informe de “Fortalecimientos de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) de emergencia” [3], presentan estrategias para el fortalecimiento en los servicios de emergencia en la categoría Autoridad-Autoridad que coinciden con los retos de la RNTE, a saber:

- Integrar a la RNTE los Servicios Auxiliares de Ayuda, las Redes de Telecomunicaciones de Socorro, las Redes de las Fuerzas Militares de Colombia, Policía Nacional y la Red de Radioaficionados.
- Integrar las emisoras comunitarias al sistema.

1.1 Preguntas de Investigación

Dada la problemática identificada, en el ámbito nacional y regional, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué arquitecturas y tecnologías de telecomunicaciones podrían soportar las comunicaciones Autoridad-Autoridad de la RNTE y con las entidades de socorro (Bomberos, Policía Nacional, Defensa Civil, Cruz Roja y Gestión del Riesgo) durante y después de un estado de emergencia en Colombia?
- ¿Cómo integrar las comunicaciones y redes actuales en una única red que pueda responder de forma oportuna, con alta disponibilidad, robustez y baja latencia frente a los estados de emergencia en Colombia?

1.2 Objetivo General

Diseñar una red de comunicaciones Autoridad-Autoridad del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia (SNTE), a partir de la integración de las redes

actuales de un Consejo Departamental de Gestión del Riesgo y Desastres (CDGRD), usando las tecnologías más apropiadas para estos sistemas y validando sus parámetros técnicos mediante una prueba piloto, tal que pueda ser escalado a nivel nacional para estados de emergencia.

1.3 Objetivos Específicos

- Documentar y analizar las tecnologías y arquitecturas más usadas en las redes de telecomunicaciones de emergencia internacionales, así como las estrategias, planes y tendencias de las redes de emergencia en Colombia acorde a la legislación nacional.
- Realizar un diagnóstico del estado actual de las redes de emergencia y equipos de radio de las entidades pertenecientes a un Consejo Departamental de Gestión del Riesgo y Desastres (CDGRD) y determinar los requerimientos técnicos, operacionales y administrativos requeridos para su integración regional.
- Diseñar una red regional integrada que soporte las comunicaciones Autoridad-Autoridad que cumpla con los requerimientos establecidos para un estado de emergencia, de forma tal que pueda ser escalado e implementado a nivel nacional.
- Realizar una prueba piloto que permita validar los parámetros de oportunidad, disponibilidad, robustez y baja latencia frente a los estados de emergencia en Colombia, tomando como caso real el Departamento de Cundinamarca y elaborar el documento final del proyecto.

1.4 Metodología

En la Figura 1 se muestra la metodología que permitirá dar cumplimiento a los objetivos planteados para diseñar una red de comunicaciones Autoridad-Autoridad del SNTE, a partir de la integración de las redes actuales de un CDGRD para un estado de emergencia, a través de las siguientes etapas:

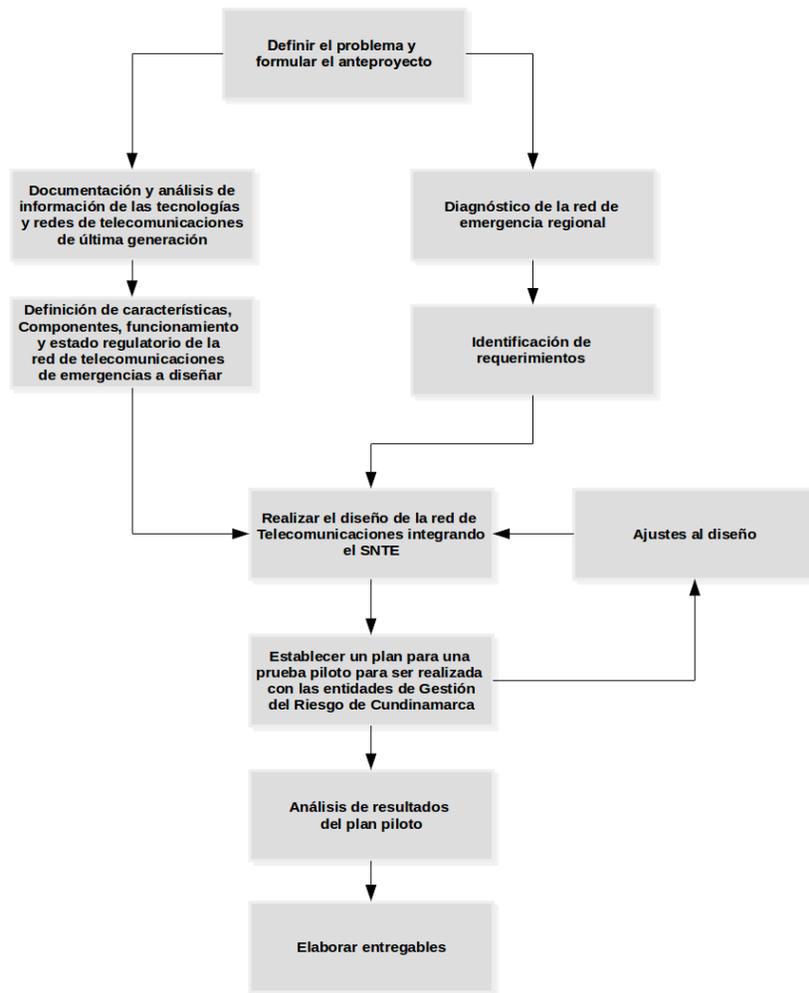


Figura 1. Metodología del proyecto

Etapas 1: Formulación y aprobación del anteproyecto

Se elabora el marco teórico preliminar y definición del problema que permita formular el anteproyecto de la investigación, el cual se somete a aprobación por parte de la Dirección de la Maestría.

Etapas 2: Documentación del estado del arte tecnológico y regulatorio

Se realiza la búsqueda y el análisis de información de las tecnologías, arquitecturas y redes de telecomunicaciones de última generación, identificando las de mayor éxito

internacional a través de artículos, proyectos y estudios ejecutados destinados a tal fin, así como el marco regulatorio nacional para las redes de telecomunicaciones de emergencia en Colombia.

Etapa 3: Diagnóstico de una red de emergencia regional

Recolección y análisis de información actual de la red regional de telecomunicaciones de emergencia de Cundinamarca, identificando requerimientos técnicos, tecnológicos, operacionales y parámetros de integración de un CDGRD para el diseño de red correspondiente.

Etapa 4: Diseño de la red de telecomunicaciones

Se realiza el diseño de la red de telecomunicaciones teniendo en cuenta las características, los componentes y el funcionamiento requerido, a partir del análisis de la información documentada y la relación de integración para un CDGRD.

Etapa 5: Prueba piloto

El diseño de la red de telecomunicaciones se valida mediante una prueba piloto, tomando como caso el CDGRD de Cundinamarca.

Etapa 6: Documentación y seguimiento

Elaboración de los entregables: anteproyecto, informes de avance del proyecto e informe final. Para llevar a cabo el seguimiento del proyecto se programaran reuniones cada quince (15) días entre el estudiante y el director del trabajo de grado.

Capítulo 2: Marco Referencial

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) expresa que las telecomunicaciones son decisivas en todas las etapas de la gestión de una emergencia o catástrofe. Cada administración nacional desarrolla planes de prevención que permiten transmitir información sobre la inminencia de peligros, con el fin de tomar acciones para mitigar o prevenir sus efectos. Del mismo modo, una vez sucedida la catástrofe, las telecomunicaciones soportan la coordinación de las operaciones de socorro y ayuda de las entidades nacionales y la comunidad internacional [1].

2.1 Telecomunicaciones de Emergencias en el Ámbito Internacional

En la actualidad cada país cuenta con distintos organismos administrativos y de gestión de riesgos y desastres que basan sus políticas, planes y estrategias de redes de telecomunicaciones en las recomendaciones de la UIT, siendo un insumo fundamental desde el sector de las TIC.

La arquitectura de las comunicaciones es una estructura organizada jerárquicamente con el fin de permitir el intercambio de datos entre niveles lógicos semejantes en distintos dispositivos o terminales de la misma o distinta red [4]. Una buena arquitectura permite implementar de forma adecuada los diferentes servicios técnicos, operaciones y administrativos necesarios de una red de telecomunicaciones emergencias.

En la publicación “Comunicaciones robustas y omnipresentes para respuesta de emergencia que utilizan redes heterogéneas multioperador” [5] proponen una arquitectura de red de comunicaciones para respuesta a emergencias (ERCN por sus siglas en inglés) basada en redes de comunicación públicas y redes privadas. ERCN interconecta dispositivos de red basados en tecnologías heterogéneas. El componente central de dicha arquitectura es una WMN (Wireless Mesh Network) que puede ser creada durante la emergencia, o una red pre-existente usada para operaciones cotidianas que se cambia a un modo de emergencia cuando es necesario [6] [5].

El crecimiento de las telecomunicaciones ofrece oportunidades y desafíos a la comunidad de Gestión de Emergencias y Desastres, para encontrar la mejor manera de aprovechar su potencial y que a la vez que se minimicen los problemas asociados con sistemas de

tecnología nuevos y abiertos [7]. Para dar soporte a las nuevas arquitecturas que se plantean, el desarrollo tecnológico se acoge con nuevas propuestas para la integración de toda esta infraestructura dedicada a telecomunicaciones de emergencia.

En Sistemas de Gestión de Emergencias (EMS) en situaciones dinámicas como actualizaciones y expansiones del sistema, eventos de emergencia, fallos de equipos del sistema, etc... pueden ocurrir en cualquier lugar y momento. La transmisión oportuna de la información debe ser el objetivo más importante. Convencionalmente el sistema se basa en situaciones estáticas y en estrategias de gestión centralizadas. En caso de una emergencia cada nodo debe esperar órdenes o instrucciones del centro de gestión y realizar la operación. Por lo tanto, si el centro de gestión falla, todo el sistema fallará [8].

Se propone el Sistema Descentralizado Autónomo (ADS), el cual tiene características en línea que consisten en una expansión y mantenimiento online y tolerancia a fallas. La tecnología de coordinación comunitaria autónoma podría hacer que cada emergencia tenga su ruta individual para transmitir información de emergencia. Se evitará el conflicto de red entre la transmisión de información de múltiples emergencias [8].

En el 2014, Gaona E. *et al.* [9], proponen una red de apoyo en el dimensionamiento de la GSM de emergencia usando dispositivos Universal Software Radio Peripheral (USRP) de bajo costo y software libre como central de conmutación, dentro de un área urbana implementando pico-celdas buscando así obtener una mejor cobertura del sistema.

Otro enfoque para optimizar las redes de emergencia es descentralizar el sistema de información para incorporar redundancia, de modo que, incluso si algunos de sus componentes están dañados, el sistema continuara funcionando. Por ejemplo cuando el tifón Kaemi se dirigía hacia el sudeste de China el 25 de julio de 2006, se logró dar aviso vía mensajes de texto desde los pocos centros de emergencia disponibles a personas y barcos ubicados en la costa circundante de Jinjiang y Fujian, logrando trasladar a 430.000 personas y 44.000 barcos a lugares seguros [10].

Una propuesta de arquitecturas y tecnologías emergentes son las redes Ad-Hoc que consisten en varios nodos descentralizados sin ningún soporte de la administración central y que no tienen ningún enlace físico y no siguen una topología particular debido al comportamiento del nodo con la movilidad frecuente de los nodos [11].

En el caso de la ausencia o el colapso de la infraestructura de telecomunicaciones predeterminada, una red autónoma es una de las pocas opciones de comunicación recomendables. Emmanouil A. Panaousis *et al.* [12] plantea el uso de una clase especial de redes Ad Hoc móviles de emergencias llamadas eMANETs (ver Figura 2) para situaciones donde la urgencia requiere una comunicación de voz e información sensible, resaltando la necesidad de un sistema de comunicación robusto y seguro.

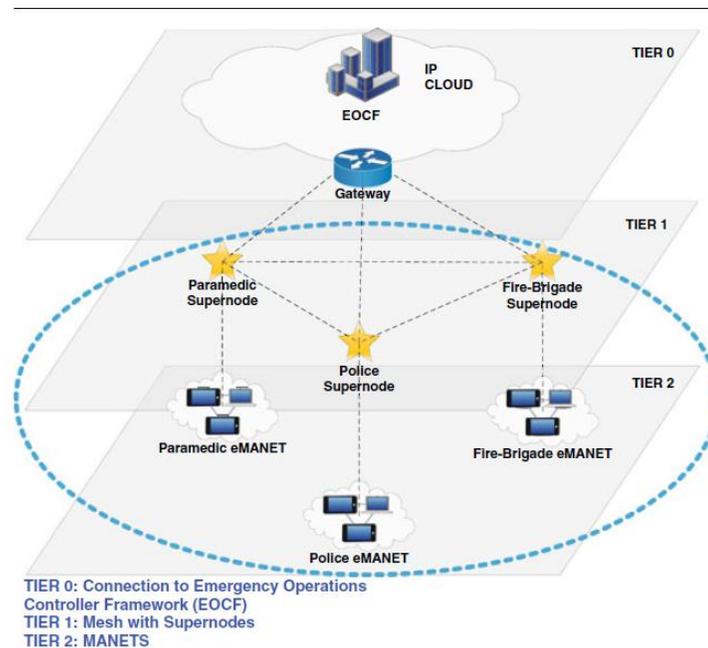


Figura 2. Comunicación de tiempo real para emergencias [6]

Las características claves de las telecomunicaciones de emergencia que las diferencian de otras comunicaciones de radio convencionales, incluyen formas redundantes que generan características de oportunidad en la conectividad, redes diseñadas para redirigir el tráfico en torno a posibles puntos de falla, equipos reforzados y mejor protegidos, y fuentes alternativas de energía, no solo para el equipo de radio sino también para los mecanismos de soporte necesarios para asegurar que funciona correctamente. El monitoreo remoto y la capacidad de acceder rápidamente a los sitios para reparar y mantener los equipos son vitales en desastres a escala natural [13].

Por su parte, la Academia de la Policía Armada de China plantea el uso de Frequency Broadcast Network (Red de Difusión de Frecuencia) como otro modelo para resolver los puntos ciegos en las comunicaciones de los entes operativos de emergencias en áreas

como autopistas, valles, interior de edificios y otras áreas de comunicación limitada, además, de enfrentar el mayor inconveniente dado que el canal se debe cambiar cuando la estación de radio se mueve de un área a otra y el recurso de frecuencia no está disponible. Esta red propone un área de cobertura que trabaja con estaciones de tránsito múltiple y una única frecuencia, cada estación de tránsito cubre sus respectivas regiones y mediante enlaces se conectan todas las estaciones de tránsito para formar una gran red [14]. El principal reto de esta red de difusión es cómo se resuelve el problema de interferencia con la superposición de frecuencia, que es causada por el número de frecuencias de tránsito, fase de audio y desplazamiento de frecuencia no uniforme [14].

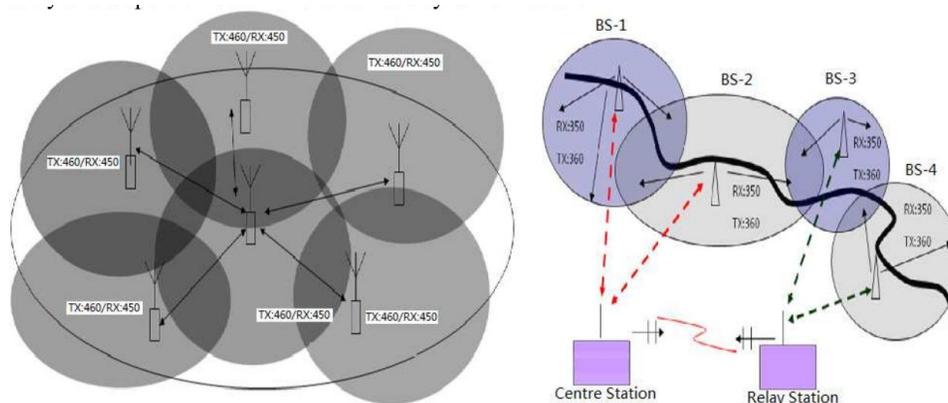


Figura 3. Estructura de una red de difusión [20]

La topología de la Figura 3 es una de las redes de difusión de frecuencia y puede ser flexible de acuerdo con el área administrativa local, combinada con la distribución de las redes, la estructura de la topología estrella puede ser aplicada en un área circular y elíptica, además, la estructura de cadena es aplicada a un área de distribución estrecha. En ocasiones, se puede usar la combinación de ambas topologías de acuerdo a la emergencia. Una multi-estación basada en TDD-OFDM, puede asignar de forma flexible recursos de canales a múltiples usuarios a través de slot de tiempo y subportadoras en frecuencia, dando acceso a multiusuarios que solo tienen una frecuencia, concediendo capacidad anti-interferencia, disminuyendo el uso de recursos de frecuencia y asignando frecuencias convenientes. Siendo capaz de hacer una transmisión multiusuario en tiempo real de información bidireccional, datos, imágenes, sin línea de visión dentro de una sola frecuencia, puede cambiar dinámicamente el ancho de banda y la velocidad de datos en

función de las necesidades de potencia. Se puede usar ampliamente en entornos sin visibilidad y obstáculos [14].

No obstante, existen otras tecnologías más habituales que se usan en las comunicaciones de emergencias, tales como:

- **Redes celulares:** Para caso de emergencias podría usarse MBMS (Multimedia Broadcast/Multicast Service) que es un servicio relativamente nuevo que soporta broadcast y multicast sobre redes UMTS. El DVB-H (Digital Video Broadcasting-Handheld) y DAB (Digital Audio Broadcasting) que puede proveer video de alta velocidad y servicios de audio sobre infraestructuras 3G, podría también usarse en emergencias [6].
- **Comunicación satelital:** Son las únicas infraestructuras que no son sensibles a daños de desastres, dado que los repetidores principales de las señales de transmisión y recepción se encuentran fuera de la atmósfera terrestre. Provee cobertura en áreas escasamente pobladas donde no existen estaciones celulares o facilidades de comunicación. Tiene deficiencias como tasas de transmisión asimétricas y el costo y peso de los equipos [6].
- **TETRA (Terrestrial Trunked Radio):** Es una de las tecnologías más importantes de radio móvil personal usado para operaciones de respuesta a emergencia y seguridad pública. Sus ventajas incluyen alta eficiencia espectral, rápido establecimiento de llamada, flexibilidad de comunicación de uno a uno, uno a grupos o grupos a grupos. Tiene dos modos de operación [6]:
 - **TMO (Trunked Mode Operation):** La operación recae en una infraestructura celular fija y privada que hace uso de estaciones base (BS). La red asigna canales y transporta señales radio entre los usuarios. De manera similar a las infraestructuras 3G, TTRA-TMO por su naturaleza centralizada, puede verse limitada e interrumpida en grandes desastres si alguno de sus nodos esenciales falla.
 - **DMO (Direct Mode Operation):** Permite la comunicación directa entre los nodos móviles TETRA (TMNs) sin necesidad de usar la infraestructura celular fija. DMO permite a los nodos comunicarse, si se desea de modo encriptado usando TDMA y mecanismos propietarios. Sin embargo, la cobertura de los usuarios es limitada, además, las tasas de transmisión de TETRA codificado varían de 2.4 a 7.2 Kbps y

todas las llamas son half duplex, soportado únicamente hasta 2 llamadas por frecuencia portadora; limitando la expansión de la red en término de número de usuarios activos a la vez.

- **Wimax (World Wide Inter-operability for Microwave Access):** Ofrece ancho de banda con acceso inalámbrico hasta 50 km para estaciones fijas y hasta 15 km para las móviles. En la arquitectura de red típica WiMax, se encuentra con una red de acceso y servicio (ASN) que comprende BS y un Gateway (ASN-GW). El ASN-GW provee funcionalidades como la administración y localización entre ASN, control de admisión, autenticación, autorización y contabilidad de clientes (AAA), etc. La red de núcleo (CN) provee conectividad a internet o a redes públicas o corporativas.

Los dispositivos que tienen habilitado WiMax pueden alcanzar tasas de transmisión de hasta 63 Mbps dentro de un radio de celda de 5 km. El uso de femtoceldas (pequeñas Bss) habilitadas para WiMax ese extiende continuamente, y su uso incrementa considerablemente su desempeño y cobertura. WiMax tiene una infraestructura centralizada, por ello, en caso de grandes desastres, varios componentes pueden convertirse en puntos únicos de falla, con riesgo de quedar inoperable en caso de emergencias [6].

En conclusión, las tecnologías actuales tienen ciertas deficiencias que han promovido esfuerzos significativos por parte de la comunidad de investigación para definir nuevas arquitecturas para seguridad pública y respuesta a emergencias, pueden clasificarse en tres categorías: Ad Hoc, Mesh e híbridas (Mesh y Ad Hoc) [6]. En general, al no depender de una infraestructura de red centralizada, las arquitecturas Mesh y Ad Hoc pueden proveer comunicaciones robustas y confiables.

En efecto las redes Mesh se han implementado en sistemas comerciales como lo es el MITOC, que incluye diferentes tipos de nodos y funcionalidades, como terminales de comunicación satelital, BSs de radio, inter operación de radios basados en IP, un switch para teléfonos VoIP, etc. También se han propuesto redes Mesh para asistencia en operaciones de emergencia aérea, formando redes en el cielo con clientes Mesh ubicados en globos [6].

La propuesta GeoBIPS, es una arquitectura mixta Mesh y Ad Hoc para servicios de emergencia. Usa una cámara y un servidor de video para enviarlo en tiempo real desde un sitio de desastre a los cuarteles centrales mediante una red Mesh [6].

Otra propuesta híbrida Ad Hoc y satelital con internet convencional es DUMBONET, el equipo de radio de los cuerpos de intervención inmediata en cada sitio de desastre forma una red Ad Hoc que es posteriormente interconectada al cuartel general vía satélite. La red GAN (Generalized Network Architecture) interconecta diversas redes heterogéneas (TETRA, UMTS, Mesh, etc.) [6].

2.2 Telecomunicaciones de Emergencia en Colombia

El Plan Estratégico de Cooperación Internacional de Gestión del Riesgo 2015 - 2018 estima que el 86% de la población colombiana está expuesta a una amenaza sísmica alta y media, el 28% a un alto potencial de inundación y el 31% a una amenaza alta y media por movimientos en masa [2], estas cifras indican los múltiples factores de amenaza a los que se encuentra expuesta gran parte de la población del país.

Los avances en la actualización de los sistemas de monitoreo y alerta temprana, así como la organización para la respuesta a emergencias de las entidades nacionales y locales, han permitido una disminución de las pérdidas de vidas por la ocurrencia de fenómenos naturales. No obstante, no han sido suficientemente efectivos para intervenir en la exposición y vulnerabilidad de la población, como se evidenció en el aumento de las pérdidas de vidas humanas, económicas y ambientales en los últimos eventos del fenómeno de La Niña en el país [15].

Durante una emergencia, la UNGRD hace uso del Protocolo de Actuación Nacional para la Atención de Emergencias (Ver Anexo 4: Flujograma de Actuación en Emergencias) que permite la planificación ordenada para dar respuesta a las emergencias de origen natural y/o antrópicos no intencionales, que se presentan en el territorio Nacional, sirviendo de guía para las acciones coordinadas desde el ámbito municipal, departamental y nacional dando cumplimiento al marco normativo contenido en la Ley 1523 de 2012 [16]. En momentos posteriores al desastre, el tráfico en la red de telecomunicaciones puede ser muy alto para que el sistema lo controle, por lo que terminará sobrecargado y los usuarios

no podrán realizar llamadas [17], ya que un sistema de telefonía fijo o móvil no se encuentra diseñado para soportar el uso de todos sus usuarios a la vez, sin importar que tan fiable y estable sea. El dimensionamiento de la capacidad de una red comercial convencional se diseña para un tráfico rutinario estimado dentro de la celda. En cambio, las redes para organismos de seguridad pública deben hacer el dimensionado, teniendo en cuenta que puede ocurrir cualquier emergencia de máxima magnitud en cualquier punto de la celda, y por tanto debe haber suficiente capacidad para poder atender la emergencia [18].

El MinTic y las entidades del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo y Desastre (SNGRD) son las instituciones que intervienen directamente en las decisiones críticas con respecto a la atención de emergencias y desastres en el país. Diariamente estas entidades se comunican a través de las redes públicas y privadas de telecomunicaciones usando los servicios de telefonía fija, móvil e internet. Sin embargo, al momento de presentarse un desastre, los daños más comunes en la infraestructura son los cortes de fibra, daños en equipos, caídas de torres de telecomunicaciones, fallas en el suministro de fluido eléctrico como cortes en líneas, daños en transformadores, caídas de torres utilizadas para el transporte de la energía, o lo más frecuente es el aumento de la demanda de servicio que genera sobrecarga en el tráfico de la red, causando lo que coloquialmente se conoce como “infarto telefónico”. Ante esta situación es necesario disponer de redes de telecomunicaciones alternas mediante las cuales se puedan mantener las comunicaciones entre las diferentes Autoridades que deben intervenir para atender estos eventos [1].

Hoy por hoy, Colombia dispone del SNTE que apoya y fortalece las comunicaciones requeridas en los procesos de la gestión del riesgo de desastres; coordina la intervención del sector de telecomunicaciones en los procesos de conocimiento y la reducción del riesgo y manejo de desastres; establece directrices para la prestación de los servicios de telecomunicaciones en situaciones de emergencias; coordina con la Agencia Nacional del Espectro (ANE) la planeación del espectro radioeléctrico necesario para la gestión del riesgo, conforme a las recomendaciones de los organismos nacionales e internacionales, además orienta, entre otros, los aspectos normativos de las telecomunicaciones que contribuyan al funcionamiento del Sistema, con el apoyo de las entidades competentes [19]. En la Figura 4 se muestran los componentes actuales del SNTE.

La estructura de la SNTE está compuesta por las comunicaciones Autoridad-Autoridad (Ver Tabla 1), las cuales se cursan a través de la infraestructura de telecomunicaciones conformada por los PRST, los radios en banda HF y VHF de propiedad de la UNGRD. En la categoría Autoridad-Individuo se encuentran los sistemas de monitoreo mediante los cuales se realiza el seguimiento continuo a los eventos que pueden desencadenar una emergencia y los sistemas de alerta temprana conformada por el servicio de televisión, radiodifusión sonora y PRST.

Tabla 1. Autoridades de Cundinamarca participantes del SNTE [20]

Clasificación de usuarios / Entidades de Cundinamarca	
Entidades de orden Departamental	Consejo Departamental para la Gestión del Riesgo – CDGR
	Secretaría de salud
Entidades operativas	Defensa Civil Colombiana
	Cruz Roja Colombiana
	Sistema Nacional de Bomberos
Entidades del Distrito	Secretaria de salud del Distrito
	Alcaldía de Bogotá
Entidades de orden Municipal	Consejos Distritales y Municipales de Gestión de Riesgo - CDMGR
CAD	Centro Atención y Despacho
SIES	Sistemas Integrados de emergencia y Seguridad

La infraestructura de telecomunicaciones que soporta la categoría Individuo-Autoridad, está conformada por los PRST mediante un Centro de Atención de Emergencias (CAE) con el número único nacional de emergencias 123. El soporte a las comunicaciones entre Individuo-Individuo corresponde a las redes públicas de telecomunicaciones y las redes de radioaficionados [1].

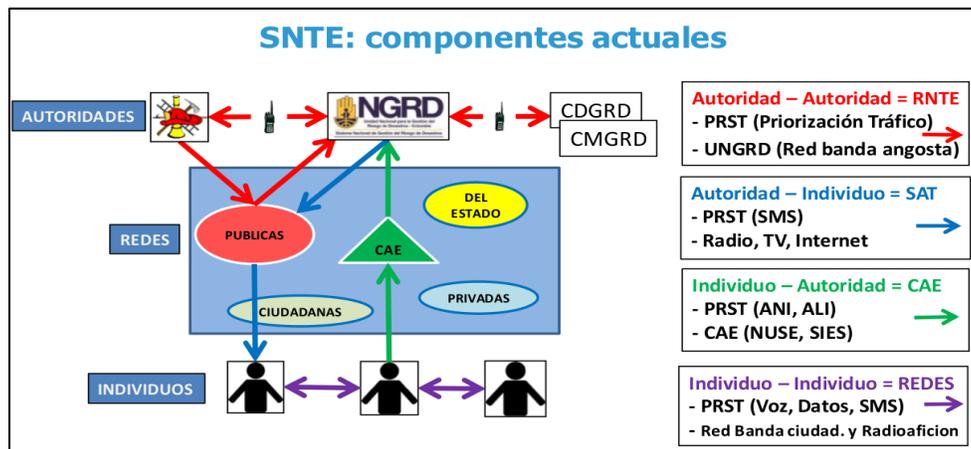


Figura 4. Componentes del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia [1]

Dado el inmenso potencial de las telecomunicaciones de emergencia Autoridad-Autoridad para facilitar la restauración de la normatividad y evitar más riesgos personales o materiales, esta categoría tiene prioridad sobre las demás categorías de telecomunicaciones de emergencia (Ver Figura 5) cuando se declaran estados de emergencia o haya una degradación de la situación [21].



Figura 5. Componente Autoridad-Autoridad [1]

Lo dispuesto en el Decreto 2434 de 2015, se estableció que con el fin de facilitar la restauración de la normalidad y evitar riesgos personales o materiales, la categoría de comunicaciones Autoridad-Autoridad, tendrá prioridad sobre las demás categorías de telecomunicaciones de emergencia cuando se declaren estados de emergencia, calamidad pública o desastre, conforme a la solicitud que realice la UNGRD [22].

El MinTic define la categoría Autoridad-Autoridad como las telecomunicaciones que se surten entre las autoridades del SNGRD en situaciones de emergencia. En las telecomunicaciones de emergencia Autoridad-Autoridad participa un usuario de telecomunicaciones de emergencia autorizado, que inicia la comunicación con otro usuario autorizado [22]. Basado en la UIT y la Recomendación Y.2205 del 2011 que describe la categoría de las telecomunicaciones de emergencia Autoridad-Autoridad. En

la categoría participa un usuario autorizado (o su organización) que inicia la comunicación con otro usuario autorizado con el fin de : [1] [21] [20]

- Facilitar las operaciones de recuperación en caso de emergencia (por ejemplo, creando centros de control de emergencias y los controles administrativos conexos para obtener asistencia del gobierno y/u otras organizaciones).
- Restaurar la infraestructura comunitaria esencial (por ejemplo, agua corriente, electricidad, etc.)
- Adoptar las primeras medidas que permitan la recuperación cabal a largo plazo (por ejemplo, reconstrucción de carreteras, puentes, edificios, etc.)

Hoy por hoy, se está implementando un sistema piloto de radiocomunicación en banda VHF, a través del sistema digital IP Multi – Site Connect, cuyo principio es la transmisión de datos y encriptación de voz por internet, de tal manera que todas las repetidoras bajo la custodia de esta Unidad se puedan comunicar independientemente del lugar en que se encuentren, informó Luis Fernando Piñeros Buitrago, el Subdirector para el Manejo de Desastres.

2.3 Marco Regulatorio Internacional

Las normas técnicas, legales y regulatorias de las telecomunicaciones de emergencia desempeñan un papel estratégico para asegurar la interconexión e interoperabilidad nacional y mundial de las redes de telecomunicaciones con la finalidad de la comprobación técnica y la gestión desde el inicio, durante y después de las situaciones de emergencia y catástrofe.

Se han identificado varias Recomendaciones, Normas, Leyes y Decretos (véase

Tabla 2) fundamentales para asegurar la transmisión oportuna y sin alteraciones de las alertas desde la fuente hasta el usuario final, sin importar el medio usado para llegar a ellos [23].

Tabla 2. Recomendaciones de la UIT

Nombre	Descripción
Resolución 647 (CMR-15)	Directrices sobre gestión del espectro para radiocomunicaciones de emergencia y operaciones de socorro en caso de catástrofe.
Resolución 646 (CMR-15)	Protección pública y operaciones de socorro.
Recomendación UIT-R M.1637	Circulación mundial e interfronteriza de equipos de radiocomunicaciones en situaciones de emergencia y operaciones de socorro.
Recomendación M.2009-a	Normas de interfaz radioeléctrica para las actividades de protección pública y socorro en caso de catástrofe en algunas partes de la banda de ondas decimétricas, de conformidad con la Resolución 646 (CMR-12)
Recomendación M.2015-2	Disposición de frecuencias para sistemas de radiocomunicaciones de protección pública y operaciones de socorro en caso de catástrofe con arreglo a la Resolución 646 (CMR-15)
Report BT.2299-1	Broadcasting for public warning, disaster mitigation and relief
Report BT.2299-2	Broadcasting for public warning, disaster mitigation and relief
Report M.2291-1	El uso de las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) para aplicaciones de protección de banda ancha pública y atención de desastres
Report M.2377	Objetivos y requisitos de las radiocomunicaciones de protección pública y operaciones de socorro (PPDR).
Recomendación Y.1271	Requisitos y capacidades de red generales necesarios para soportar telecomunicaciones de emergencia en redes evolutivas con conmutación de circuitos y conmutación de paquetes.
Recomendación E.106	Plan internacional de preferencias en situaciones de emergencia para actuaciones frente a desastres.
Recomendación E.107	Servicio de telecomunicaciones de emergencia (ETS) y marco de interconexión para implementaciones nacionales del ETS.
Recomendación M.1036	Disposiciones de frecuencias para la implementación de la componente terrenal de las IMT en las bandas identificadas en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) para las IMT
Recomendación M.1826	Plan de canales de frecuencias armonizados para protección civil en banda ancha y operaciones de socorro a 4940-4990 MHz en las Regiones 2 y 3.
Reglamento de radiocomunicaciones edición 2016	
Actas finales provisionales Conferencia mundial de radiocomunicaciones (CMR-15)	

La CITEL es un organismo de la Organización de Estados Americanos (OEA) que tiene como fin primordial establecer políticas en común para el uso y desarrollo de las telecomunicaciones en la región Américas. En ese sentido, busca que la región Américas llegue con posiciones en común y consolidadas ante las reuniones mundiales de la UIT. La representación de Colombia ante la CITEL es ejercida por el MinTic [24].

A nivel de recomendaciones para los países miembros (incluida Colombia), la CITELE en materia de emergencias y desastres ha establecido las recomendaciones de la Tabla 3:

Tabla 3. Recomendaciones de la CITELE

Recomendación	Descripción
CCP.III/REC. 24(VI-96)	Sobre mejoras en las comunicaciones para desastres en las Américas. Le Recomienda que cada uno de los países Americanos desarrolle un Plan Nacional para proveer comunicaciones de emergencia y que los recursos de los Servicios Móviles Terrestres se refuercen para asistir en comunicaciones de alivio de desastres.
CCP.I/REC.6 (XVI-10)	Los Estados miembros de la CITELE consideren la adopción de procedimientos sencillos y eficaces que sujetos al marco jurídico permitido para las operaciones de socorro en respuesta a emergencias y desastres naturales, faciliten la libre circulación e implementación de terminales por satélite o todo equipo de telecomunicaciones que cada Administración considere que ello es necesario en el caso de desastre naturales o emergencias.
CCP.II/REC.49 (XXVIII-16)	Los sistemas de protección pública y socorro en caso de catástrofe (PPDR) basados en sistemas de Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT) tienen un papel fundamental que desempeñar para responder con eficacia y eficiencia los objetivos de interés público, nacional e internacional para PPDR.

La CITELE y la UIT recomiendan en el CCP.II/REC.49 y M.2015 respectivamente, que las administraciones que deseen desplegar redes de banda ancha para PPDR en partes del rango 698 - 894 MHz, consideren las siguientes disposiciones de frecuencias [25]:

- 703-748 / 758-803 MHz y 758-768 / 788-798 MHz
- 807-824 / 852-869 MHz y 814-824 / 859-869 MHz

Con la expedición de la Ley 1341 de 2009 el gobierno de Colombia estableció una serie de políticas públicas que rigen el sector de las Tecnologías de la Información y las comunicaciones que, a pesar de ser generales, permiten el desarrollo de la normatividad para atender emergencias. En esta misma Ley se establecen obligaciones específicas a los proveedores de redes y servicios de telecomunicaciones en casos de emergencias [1].

De manera particular el artículo 8° de dicha Ley dispone que, en casos de atención de emergencia conmoción interna y externa, desastres, o calamidad pública, los PRST provean de servicios e infraestructura a las autoridades de manera gratuita y oportuna y

darán prelación a dichas autoridades en la transmisión de las comunicaciones que aquellas requieran. Además, deberán dar prioridad a las comunicaciones relacionadas con la protección de la vida humana, así como, darán preferencia a las autoridades en las comunicaciones para efectos de prevención de desastres, de forma gratuita [26].

En el artículo 57 de la Ley 1341 de 2009, respecto a los servicios de radiodifusión sonora, ordena que en casos de emergencia y calamidad pública los prestadores de dichos servicios deban colaborar con las autoridades en la transmisión de las comunicaciones relacionadas con la protección de la vida humana [26].

Además de la anterior normatividad que fue emitida desde el sector de las TIC, Colombia dispone de la Ley 1523 de 2012, mediante la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el SNGRD [16].

El MinTic expidió el Decreto 2434 “Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamiento del Sector de TIC, 1078 de 2015, para crear el SNTE como parte del SNGRD”, en el cual se define el SNTE [22].

El SNTE tiene como objetivos: facilitar, apoyar y fortalecer las comunicaciones requeridas en los procesos de la gestión del riesgo de desastres; coordinar la intervención del sector de telecomunicaciones en los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres; establecer directrices para la prestación de los servicios de telecomunicaciones en situaciones de emergencias; coordinar con la ANE, la planeación del espectro radioeléctrico necesario para la gestión del riesgo, conforme a las recomendaciones de los organismos nacionales e internacionales, además de orientar, entre otros, los aspectos normativos de las telecomunicaciones que contribuyan al funcionamiento del sistema, con el apoyo de las entidades competentes [19].

La Presidencia de la República expidió el 24 de febrero de 2016 el Decreto 308 por medio del cual se adopta el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres con el objetivo de orientar las acciones del Estado y de la sociedad civil en cuanto al conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres en cumplimiento de la Política Nacional de Gestión del Riesgo [27].

El marco normativo colombiano involucra aspectos de gestión de riesgo y emergencia integrada con el sector TIC, tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Marco normativo colombiano

Decreto	Objeto
Ley 1523 de 2012	Por cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el SNGRD y se dictan otras disposiciones
Ley 1341 del 2009	Por la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las TIC, se crea la ANE y se dictan otras disposiciones
Resolución 1201 del 2004	Por la cual se atribuyen y designan unas frecuencias radioeléctricas de uso libre para la operación del SNRE Ciudadana en desarrollo de los Servicios Auxiliares de Ayuda, y se dictan otras disposiciones
Resolución 1201 de 2004	Por la cual se atribuyen y designan unas frecuencias radioeléctricas de uso libre para la operación del Sistema Nacional de Radiocomunicación de Emergencia Ciudadana en Desarrollo de los Servicios Auxiliares de Ayuda
Resolución 415 del 2010	Por el cual se expide el Reglamento del Servicio de Radiodifusión Sonora y se dictan otras disposiciones
Decreto 1081 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Reglamentario Único del Sector Presidencia de la República
Decreto 2433 de 2015	Por el cual se reglamenta el registro TIC y se subroga el título 1 de la parte 2 del libro 2 del Decreto 1078 de 2015, Decreto Único Reglamentario del sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
Decreto 2434 de 2015	Por el cual se adiciona el Decreto Único Reglamentario del sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones; 1078 de 2015, para crearse el SNTE como parte del SNGRD
Decreto 308 de 2016	Por medio del cual se adopta el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres

2.4 Tendencias Futuras de las Redes de Emergencia Internacionales

Las entidades gubernamentales de USA (NPSTC y TCCA) y Europa (ECC) seleccionaron P-25 (Project 25) y TETRA como el camino de evolución de los estándares actualmente utilizados en las redes de seguridad pública y emergencias. La tecnología LTE, es seleccionada para satisfacer las nuevas necesidades de servicios de banda ancha móvil y multimedia en situaciones de emergencia [20]. Las siguientes son otras tendencias que sobresalen para los sistemas de emergencia:

- **Los cambios en las formas de trabajo:** Hay una tendencia hacia el mando y control móvil para mejorar la eficacia y la eficiencia de respuesta a incidentes. Esto impulsa la demanda de acceso simultáneo a una gama más amplia de aplicaciones, que están siendo utilizadas en combinación para responder a un incidente individual [20].
- **Los datos sustituyen la voz:** Los usuarios de las redes de emergencia y seguridad pública utilizan cada vez más las aplicaciones de datos tales como identificación de geo-localización (vehículos y personas), consulta/acceso de base de datos, mensajería de datos cortos, comunicación de modo directo, transferencia de imagen/video/mapa/planos/fotos para mejorar las comunicaciones de misión crítica de voz. Estas aplicaciones son vitales para el desarrollo de sus actividades diarias y la gestión de grandes eventos planificados y no planificados [20].
- **Operaciones basadas en información:** Los escenarios antes mencionados sugieren una evolución hacia un mayor intercambio de información de una variedad de fuentes (voz, datos y video). El objetivo de esta forma de trabajo es establecer un cuadro de operaciones común entre todas las agencias, organismos y funcionarios que intervienen en los incidentes de emergencia y los centros de comando. Esto tiene ventajas como una mejor movilización de los equipos sobre terreno, una respuesta más oportuna e información más precisa disponible para apoyar la toma de decisiones sobre el incidente [20].
- **Mayor conocimiento y uso de multimedia:** Cada vez más rutinas diarias se están aprovechando de una mezcla de diferentes tipos de tráfico (es decir, voz, datos, imágenes, video), el cual es soportado por las tendencias hacia las operaciones de campo móviles y oficinas móviles. Las aplicaciones multimedia se extienden a través de diferentes tipos de redes que abarcan redes WAN y LAN [20].
- **Soporte de 5G para PPDR:** Motorola comparte las proyecciones de PPDR en las comunicaciones de 5G que incluye: 911 de siguiente generación con llamadas de emergencia y servicio de despacho en ambiente multimedia, integración de datos multimedia y correlación para inteligencia accionable en el conocimiento de la emergencia, la analítica de información se realizará en tiempo real para identificar prioridades estratégicas a través de comando móvil y colaboración multimedia.

Uso de sistemas predictivos de crimen y analítica para patrullaje proactivo, también de detectar anomalías, formar relaciones e identificar patrones relevantes de datos obtenidos durante una emergencia [28].

La tendencia de los sistemas IMT 2020 deberá ser capaz de proporcionar soporte a las aplicaciones que exijan comunicaciones a velocidades de datos muy elevadas, numerosos dispositivos conectados y aplicaciones de baja latencia y gran fiabilidad. La Figura 6 se compara las principales capacidades de las IMT-2020 con las IMT- Avanzadas, las capacidades clave para soporte a PPDR de 5G/IMT 2020 se describen en la Tabla 5.

Tabla 5. 5G/IMT 2020 Capacidades clave para soporte a PPDR [28] [29]

Capacidades clave	Uso en PPDR
Velocidad de datos experimentada por el usuario	Los datos de alta velocidad son esenciales para las actividades de seguridad
Movilidad	Movilidad a altas velocidades es importante para seguridad pública en persecución criminal
Latencia	Una baja latencia es crítica para seguridad pública
Densidad de conexión	Una conexión en alta densidad es importante para control en eventos mayores

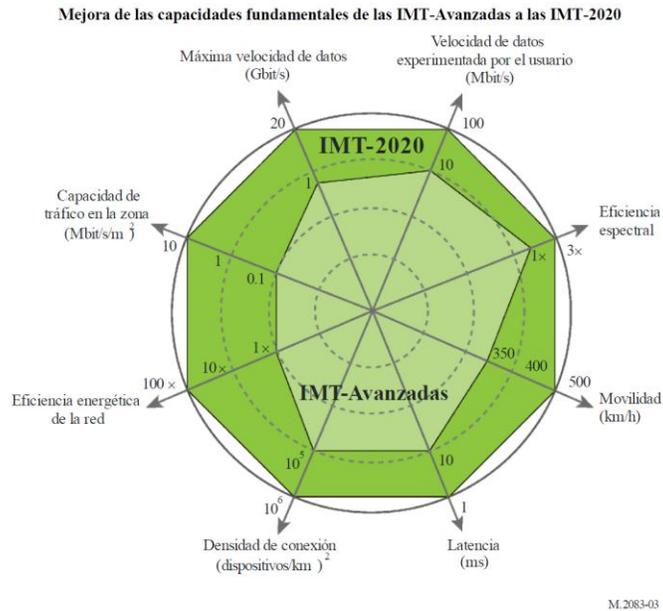


Figura 6. Mejora de las capacidades fundamentales de las IMT [28] [29]

5G también tendrá que ofrecer una plataforma para la colaboración entre diferentes partes interesadas de PPDR que tienen como objetivo unificar sus procedimientos operativos cuando comparten información y toman medidas (ver Figura 7) [30].

La comunicación confiable y segura entre varias agencias de PPDR, así como el personal involucrado, se vuelve esencial para garantizar el éxito de la operación de una misión crítica en contextos tanto de rutina como de emergencia. En este sentido, un desafío tecnológico importante es preparar futuras redes de PPDR para el manejo de datos multimedia masivos que aumentarán las fuentes convencionales de información a disposición de las partes interesadas de PPDR y, por lo tanto, mejorarán su eficiencia operativa.

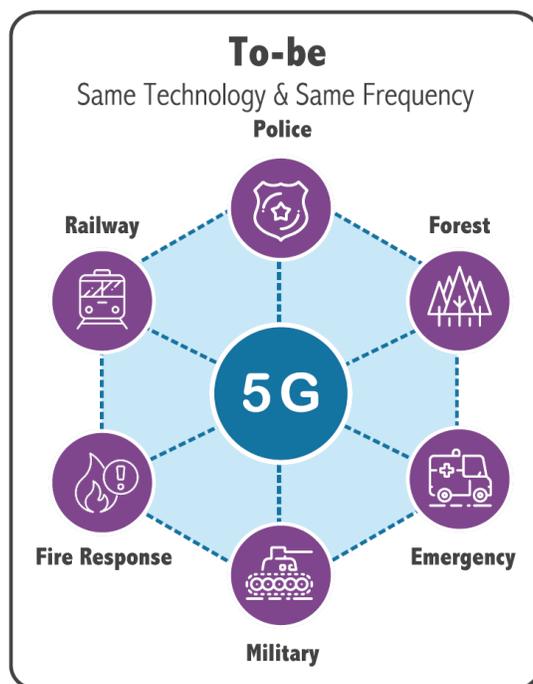


Figura 7. Evolución de las comunicaciones PPDR en 5G [30]

Las especificaciones 3GPP LTE de hoy ya ofrecen una base sólida para un operador de banda ancha en futuras aplicaciones PPDR. Sin embargo, incluso LTE puede requerir un trabajo adicional de estandarización por parte de 3GPP y ETSI para desarrollar la funcionalidad dedicada para un soporte eficiente de los nuevos servicios PPDR [30]. En consecuencia, se hace evidente que las recientes versiones de 3GPP LTE estarán en posición de reemplazar las soluciones PPDR heredadas [31], como TETRA y TETRAPOL.

Capítulo 3: Estándares, Tecnologías y Casos de Éxito Internacionales

La gestión de las emergencias consiste, en general, en una evaluación de la situación, previsión de su evolución, establecimiento de objetivos estratégicos a alcanzar, organización de los recursos disponibles y control continuo de la intervención para readaptar el plan y recursos disponibles cuando sea necesario [32].

En más de 30 países europeos, utilizan tecnología de acceso troncalizado TETRA orientado a servicios de voz y otras soluciones con un estándar similar denominado TETRAPOL [20]. En Estados Unidos, y recientemente en Australia, el estándar más utilizado es el estándar P-25, también orientado a servicios de voz. Los países en vía de desarrollo utilizan redes de radio en banda VHF/HF y comunicaciones analógicas con anchos de banda de 13.5 kHz, en su mayoría equipos de marca MOTOROLA y se soportan en las redes públicas fijas y móviles, algunas con soportes redundantes satelitales [20].

Como respaldo la gran mayoría de los organismos de socorro en el mundo utilizan redes de radio en banda HF/VHF. Las redes de transporte generalmente son mezclas entre soluciones de fibra, microondas y satelitales tanto para el transporte, como para los accesos [20].

La tendencia tecnológica y regulatoria del mercado de telecomunicaciones internacional muestra una clara inclinación de migración hacia tecnologías LTE; inclusive una de las tecnologías más afianzadas y maduras del mercado para redes de emergencia y seguridad como es TETRA, está en pleno desarrollo de la versión TETRA LTE. P-25 está en los primeros pasos para integración de LTE a su tecnología [20].

A continuación, se identifican las principales tecnologías y arquitecturas implementadas internacionalmente.

3.1 Sistemas Troncalizados

En los sistemas troncalizados los usuarios comparten todos los canales disponibles (frecuencias asignadas), evitando así que dependan de un canal determinado, como ocurre en los sistemas tradicionales, y no puedan transmitir su mensaje si este se encuentra ocupado. En un sistema convencional cada grupo de usuarios cuenta con un canal determinado. Si un usuario desea comunicarse con otro usuario de otro grupo, debe cambiar su radio al canal respectivo. De esta manera si el canal al cual está asignado el usuario se encuentra ocupado este no puede transmitir su mensaje. El sistema troncalizado, crea grupos de usuarios independientes de los canales o frecuencias con que se cuente, de tal manera que cuando un usuario desea realizar un llamado, bien sea de voz o datos, el sistema automáticamente le asigna un canal libre. Si en ese momento no se encuentra ningún canal libre, queda en una cola de espera por un determinado tiempo [20].

En la Tabla 6 se listan las principales diferencias entre el sistema de radio convencional y el troncalizado.

Tabla 6. Diferencias entre Sistemas de Radio Convencionales y Sistemas Troncalizados [20]

Voz	Convencional	Troncalizado
Acceso al Sistema	Los usuarios deben monitorear el canal antes de acceder	Los usuarios necesitan sólo apretar el PTT y el sistema se encarga del resto
Privacidad	Limitada (a través de señalización especial) o inexistente	Sistema organizado por grupos donde cada grupo no interfiere con los otros. En llamadas uno a uno, nadie escucha o puede interferir la conversación privada
Prioridad	Los usuarios compiten por acceso al canal y deben reintentar	Varios niveles de prioridad
Fila de Espera	Inexistente	Fila de espera en el que el primero que entra es el primero que consigue acceso con niveles de prioridad dentro de la fila

Existen ventajas adicionales de los sistemas troncalizados con respecto a los radios convencionales tales como [20]:

- Control y monitoreo de fallas en la red y auto-recuperación.

- Gestión y programación de facilidades para los usuarios de acuerdo a requerimientos.
- Manejo de prioridades.
- Llamada individual (no es escuchada por los demás usuarios).
- Manejo de grupos de usuarios.
- Desvío de llamadas y lista de llamadas pendientes por contestar.
- Transmisión de datos, facsímil.
- Consultas a bases de datos.
- Manejo de mensajes de texto, sin ocupar el canal de comunicación.
- Estructura muy similar a la de las redes celulares.

3.2 Estándares Americano y Europeo

A continuación, se presentan los estándares más representativos de las telecomunicaciones de emergencia de Estados Unidos y Europa.

3.2.1 Estándar Americano Project 25 - P-25

Es un estándar concebido para la fabricación de productos interoperables de comunicación inalámbrica digital de dos vías, algunas veces conocido como Proyecto 25 o APCO P-25. Es de arquitectura abierta, donde el usuario maneja los estándares del sistema de radio, capaces de servir a las necesidades de organizaciones públicas de seguridad y gobierno. Un radio P-25 es cualquier radio que se adhiere al estándar P-25 en la manera de funcionamiento u operación. El P-25 puede manejar sistemas convencionales de comunicación de radio VHF y sus objetivos son [20]:

- Asegurar la competencia en adquisiciones de ciclo vital del sistema por medio de Sistemas de Arquitectura Abierta.
- Permitir comunicaciones eficientes, efectivas y seguras en comunicados internos y entre distintos organismos.
- Proporcionar funcionalidad y capacidades mejoradas centrado en necesidad de seguridad pública.
- Mejorar eficiencia de espectro de radio.

- Las bandas de frecuencias en las cuales el P-25 puede operar y dentro de la normatividad colombiana que pudieran estar disponibles, son los siguientes rangos: VHF (136-174 MHz). UHF (403-512 MHz, 806-870 MHz).

P-25 ofrece los servicios en tecnología FDMA que es aún más redundante y robusta. Las nuevas redes P-25 IP tienen un diseño tolerante a fallos, gracias al despliegue de conmutadores de red redundantes de alta disponibilidad, al diseño modular de las estaciones para facilitar las tareas de supervisión y mantenimiento, o un sistema de Backup automático en cada emplazamiento para facilitar la restauración rápida del sistema en casos de fallo [20].

Existe compatibilidad entre el estándar P-25 y los sistemas convencionales (permitiendo que los usuarios de las diversas empresas o áreas se comuniquen directamente unos con otros). De esta forma las entidades nacionales, departamentales y locales (o cualquier otra agencia) se pueden comunicar con mayor eficacia cuando se encuentren en estado de emergencias. La conectividad se hace entre master site y master site, y permite la interconexión de usuarios de diferentes redes [20].

La Tabla 7 resume las ventajas y desventajas del P-25.

Tabla 7. Ventajas y desventajas del estándar P-25

Ventajas	Desventajas
Opera en bandas de frecuencia VHF y UHF	Alto costo para la implementación
Probado y usado en Colombia por las principales fuerzas de seguridad del Estado (Policía y Ejército)	Baja eficiencia espectral
Compatibilidad con los sistemas convencionales o usuarios de diferentes redes	Canal de datos de muy baja velocidad
Mantenimiento y actualización de bajo costo	-

3.2.2 Estándar Europeo TETRA

La tecnología TETRA, permite la transmisión de voz y datos en las distintas modalidades previstas por dicho estándar (mensajes de estado, datos cortos, y datos en modo paquete). El sistema TETRA ofrece cubrimiento a varios mercados de redes móviles privadas, sin embargo, el mayor de ellos se encuentra en los sistemas de emergencia y en los sistemas de seguridad pública, donde la tendencia es la implementación de redes

de cobertura nacional, compartidas por todas las organizaciones e instituciones para atención a los ciudadanos, por razones de economía, autonomía de operación para comunicaciones de rutina y la capacidad total de inter-operar con otros servicios durante situaciones de emergencia y desastres [20]. Además, está constituido básicamente por dos tipos de emplazamientos denominados Emplazamiento Maestro (Centro de Gestión y Conmutación) y Emplazamientos Remotos (Las bases de cobertura radio) [33].

En la Tabla 8 se resumen las ventajas y desventajas del estándar TETRA.

Tabla 8. Ventajas y desventajas del estándar TETRA

Ventajas	Desventajas
Es un estándar abierto	Necesidad de utilizar amplificadores lineales, que le permitan operar con otros sistemas de radio existentes. Baja velocidad de transferencia de datos.
Tiene un alto nivel de interoperabilidad entre productos de diferentes fabricantes, debido a la estandarización de las interfaces en la norma	
Ofrece una eficiencia espectral de 4:1, tiene 4 canales de 6,25 KHz (cuatro time slot en un ancho de banda de 25 KHz).	
Los terminales de usuario necesitan una potencia de transmisión más baja que otras tecnologías y por lo tanto pueden ser más pequeños, menos costosos y más parecidos a los teléfonos celulares, en cuanto a dimensiones y características físicas.	
Seguridad: debido a que es un sistema digital, la información puede ser encriptado más fácilmente	
Tiempo de establecimiento de llamada <300 ms	
El sistema cuenta con protocolos que le permiten operar aun cuando el sistema este sobrecargado de llamadas, esto es especialmente útil durante eventos críticos	
Modo directo de comunicación entre radios	
Prioridades de llamada	

3.2.3 Estándar Europeo TETRAPOL

Se trata de un Sistema de radiocomunicación móvil desarrollado a finales de los años 80 y del que EADS Telecom es su propietaria. El Sistema está reconocido, entre otros, en el Informe UIT-R, M.2014 de la UIT y por la Comisión de la Unión Europea, siendo adoptado en 1998 como medio de telecomunicación móvil, orientado a su utilización por los

Servicios de Seguridad de los miembros del Grupo de Schengen (ahora denominado Grupo de Cooperación de Policía) en la Unión Europea (UE) [34]. Su diseño integra la disponibilidad normalizada de voz y datos, con radiocanales de 12,5 kHz de ancho de banda.

Actualmente presta servicio en varios países de la UE, utilizando tecnología de acceso FDMA y modulación GMSK. Opera en modo red, con configuración Trunking, cuando el terminal es servido bajo la cobertura directa de la estación base o en modo directo o en modo repetidor entre terminales que se hallan en coberturas no solapadas, y además, dispone de medios de encriptación [34].

3.3 Tecnologías y Redes para Sistemas de Emergencias

A continuación, se contemplan dos sistemas de comunicaciones de emergencia que proporcionan soporte en escenarios de desastre de gran magnitud, donde la cobertura es nula o las redes convencionales fallan.

3.3.1 Redes Ad Hoc y redes Mesh

Las redes Ad Hoc y Mesh son las redes más prometedoras, como respuesta efectiva a los diferentes desafíos que plantean las comunicaciones en emergencia, donde los nodos o miembros de la red, varían entre comunicaciones Bluetooth, sistemas Ultra banda Ancha (UWB), redes de sensores, dispositivos móviles celulares y otros equipos con capacidad de conectar de forma inalámbrica [35]. Un modelo inalámbrico de red troncal fija consiste en una gran cantidad de Nodos Móviles (MN) y relativamente pocos, pero más poderosos, nodos fijos. La comunicación entre un nodo fijo y un MN dentro de su rango ocurre a través del medio inalámbrico.

Sin embargo, esto requiere una infraestructura permanentemente fija. Otro modelo de sistema, la red Ad-Hoc móvil (MANET) es una colección auto organizado de MANET que forman una red inalámbrica temporal y dinámica en un canal inalámbrico compartido sin la ayuda de una red fija, infraestructura o administración centralizada [35].

Debido a la diversidad de topologías y dispositivos existentes, se han desarrollado arquitecturas que mezclan diferentes estructuras de redes ya existentes como lo son las redes Mesh o redes Malla (Ver Figura 8).

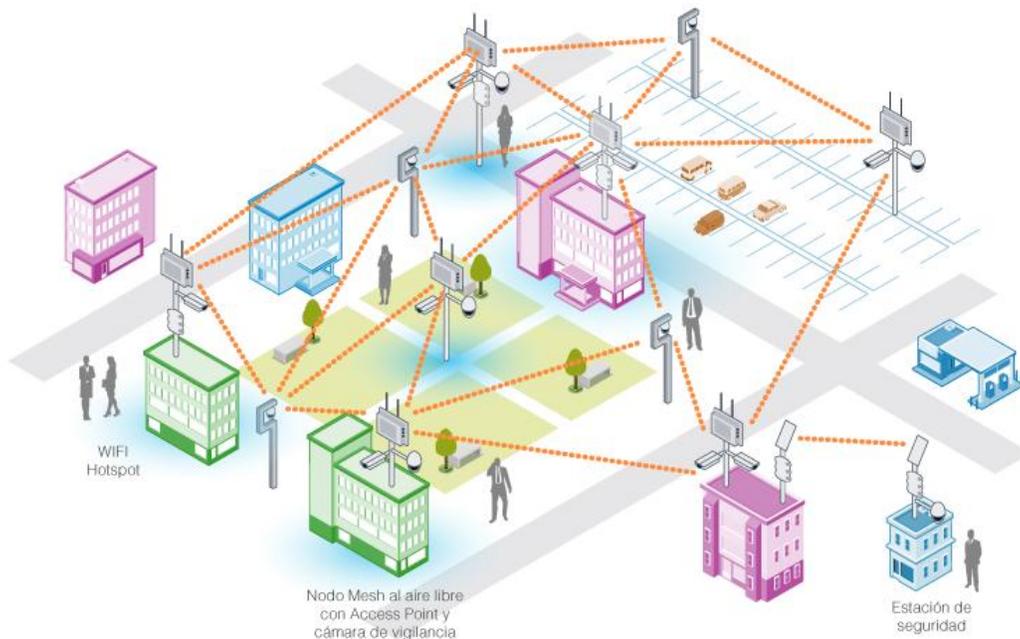


Figura 8. Topología red Mesh [10]

Estas redes surgen de la necesidad de contar con una arquitectura de red flexible, que provea una plataforma común para redes heterogéneas de diversos operadores y diversas áreas para atender las emergencias. Una red inalámbrica de Mesh como respaldo en casos de emergencias es una de las alternativas más viables y prácticas [6].

Las redes pueden ser, solo Ad Hoc, Mesh o híbridas, de esta forma se ofrecen un Esquema de mejoramiento de la combinación centralizada y las redes Ad Hoc, donde se manejan protocolos de enrutamiento para el descubrimiento de rutas entre los diferentes nodos, de esta forma, si ocurre un desastre la red genera rutas posibles entre los nodos y las estaciones bases proveedoras de servicios o de enlace en la red generando la recuperación de las rutas y de los servicios prestados por la red.

Como ejemplo, podemos citar la Red WIDENS, proyecto europeo destinado a la seguridad y protección pública, una red Ad Hoc de banda ancha, con una plataforma que permite la integración con diferentes tecnologías [35]. Además, las estaciones de transmisión Ad Hoc no solo pueden aumentar la capacidad del sistema sino también reducir la potencia de transmisión para hosts móviles y ampliar la cobertura del sistema [36].

El 3GPP está considerando actualmente los requisitos y roles de los equipos de seguridad del usuario (PS UE) en varios escenarios de PPDR, incluidos los que se muestran en la Figura 9. Dichos PS UE pueden tener capacidades especiales en términos de niveles de potencia de transmisión, recursos de radio control y sincronización. La operación independiente es claramente necesaria para situaciones sin cobertura de red, pero en situaciones en las que hay cobertura de red (parcial) la red puede proporcionar asistencia para aumentar el rendimiento general [36].

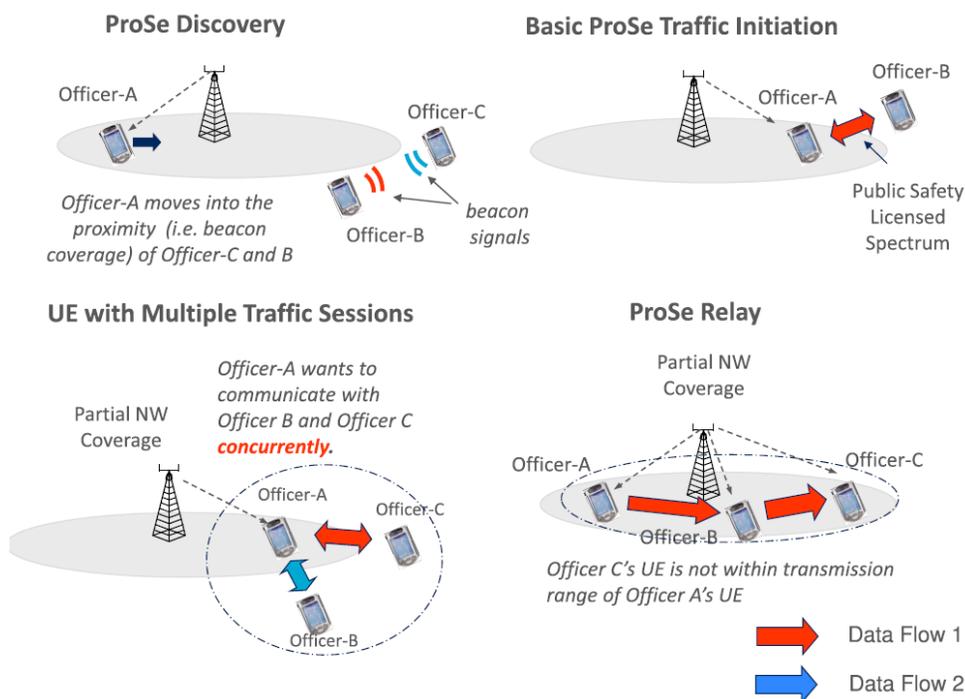


Figura 9. Escenarios de PPDR sin cobertura o cobertura parcial [36]

3.3.2 High Altitude Platforms Station - HAPS

También conocidos como “Repetidores estratosféricos”, fueron definidos en la World Radio Communications Conference en 1997 y en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) No. S1.166A. La UIT se calificó a los HAPS como una alternativa tecnológica revolucionaria con mayores ventajas que los sistemas terrestres y satélites, entre las cuales se resaltan su uso eficiente del espectro radioeléctrico, su mayor capacidad y calidad de transmisión [37]. Las principales ventajas de los HAPS son:

- Despliegue rápido
- Bajo costo de reconfiguración y mantenimiento.
- Capacidad para comunicaciones de banda ancha.
- Gran área de cobertura y pocos problemas de obstrucciones.
- Gran capacidad del sistema.
- Flexibilidad para responder a las distintas demandas de tráfico.
- Bajo retardo de propagación.
- Menos infraestructura en tierra.
- Despliegue incremental.
- Respeto medioambiental.
- Bajo costo.

La flexibilidad, menor contaminación y efectividad-costo convierte a las HAPS en una opción de infraestructura para la integración de servicios. Estas estaciones radioeléctricas son capaces de embarcarse en globos, aviones estratosféricos o planeadores que pueden volar hasta los 25 Km de altura sobre la superficie terrestre [37]. La zona de cobertura de hasta 500 Km de diámetro se clasifica en tres, dependiendo del ángulo de elevación con respecto al usuario (ver Figura 10).

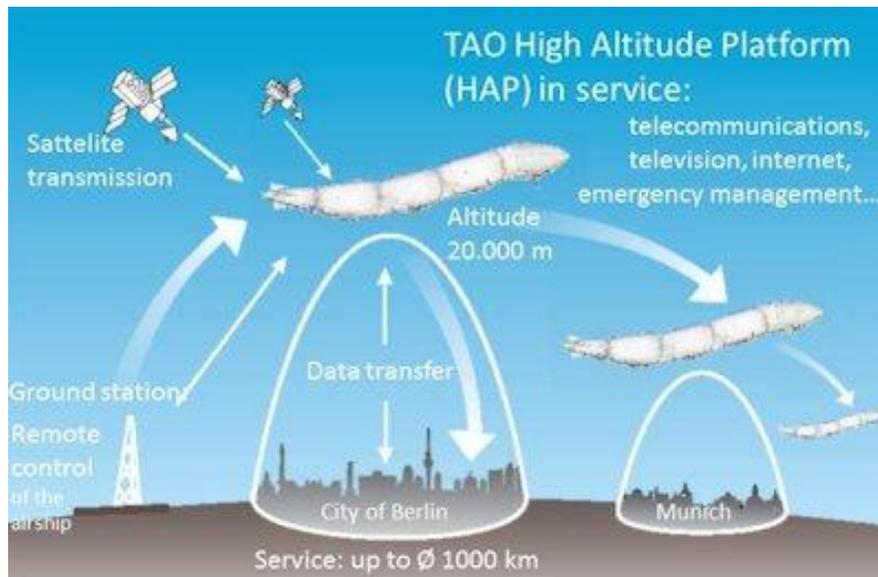


Figura 10. Tecnología HAPS [38]

La arquitectura HAP se compone de los siguientes subsistemas [37]:

- **Plataforma HAP:** Globo ubicado en la estratosfera. Contiene el repetidor de radiocomunicaciones también denominado “carga útil”. Toda conmutación de comunicaciones entre usuarios se realiza directamente en dicho repetidor que contiene una gran unidad de conmutación normalizada del tipo ATM (Asynchronous Transfer Module) normalizado por la UIT.
- **Estaciones terminales de usuario:** Se encuentran en tierra, son dispositivos portátiles que comunican directamente con la carga útil de HAPS. Inicialmente no está prevista la interconexión directa de los terminales de usuarios entre sí, sino que se realizan a través de la plataforma HAP.
- **Estaciones de cabecera:** Situadas también en tierra, facilitan la interconexión con la red pública de telecomunicaciones, RTPC (Red Telefónica Pública Conmutada), RDCP (Datos con Conmutación de Paquetes) o internet. La mayoría de las estaciones de cabecera se diseñan como unidades no atendidas y autónomas que funcionan de forma remota desde los centros de control de HAPS.
- **Centros de control (CC):** Se encarga del control en tiempo real de todos los recursos de la red HAP. Los CC efectúan tareas tales como la autenticación del usuario, control de la llamada, gestión del recurso radioeléctrico, gestión del tráfico y la recolección de datos de uso a efectos de facturación y contabilidad.

Skydragon es una plataforma de gran altitud tipo HAPS de la empresa TAO, que ayuda a restablecer en cuestión de horas el servicio telefónico de urgencia y otros servicios en la zona siniestrada. Pueden mantenerse operativas hasta que vuelvan a reconstruir las infraestructuras terrestres de telecomunicaciones [38].

Finalmente, en la Tabla 9.se resumen las características y funciones de las tecnologías de éxito identificadas.

Tabla 9. Comparativa de tecnologías

Funciones	TETRA	P-25	TETRAPOL	Ad Hoc	HAPS
Canal de acceso	TDMA	FDMA	FDMA	OFDM	CDMA - TDMA
Modulación	QPSK	QPSK	GMSK	256 QAM	QPSK
Voz	si	si	si	Si (Volp)	si
Datos	120 Kbit/s	20-30 Kbit/s	20-30 Kbit/s	54 Mbits	11 Mbits
Servicios especiales (llamadas en grupo, mensajes, difusión)	si	si	si	no	si
Robustez, disponibilidad, seguridad	si	si	si	limitada	si
Frecuencias de operación	350, 380-400, 410-430, 450-470, 806-870 MHz	132-174, 380-512, 764-870 MHz	380-385, 390-395 MHz	2.4, 5 GHz	2.1 GHz, 27-28 y 21 GHz, 47-48 GHz
Potencia repetidoras	25 watts	125 watts	100 watts	500 mwatts	-
Potencia equipos	Portátiles: 1 watts, Móviles: 3 watts	Portátiles: 6 watts, Móviles: 110 watts	Portátiles: 2 watts, Móviles: 10 watts	-	-
Tipo de comunicación	Digital	Digital y analógico	Digital y analógico	Digital	Digital
Autenticación	si	No	si	no	si
Seguridad	si	si	si	si	si
Vías de comunicación	Telefonía full-duplex	Telefonía half-duplex	Telefonía half-duplex	half-duplex	full-duplex

3.4 Casos de Éxito Internacionales para Sistemas de Emergencia

3.4.1 Europa

En Europa se usan dos tecnologías de radiocomunicaciones, TETRA y TETRAPOL, cuya utilización fue aprobada por la Unión Europea el 12 de mayo de 1999. De igual forma se acordó el uso de 5 MHz entre 380 y 400 MHz para ubicar las frecuencias para servicios de emergencia a nivel europeo [33]. En la actualidad hay desplegadas y en explotación, 56 redes en 28 países, de los cuales 13 son europeos. Todas estas redes se han desplegado bajo la norma TETRAPOL, reconocida por la UIT y el Grupo de Cooperación Policial [33].

La red francesa de la policía nacional llamada ACROPOL ofrece comunicaciones encriptadas de voz y datos de extremo a extremo al 75% de las fuerzas policiales nacionales (seguridad pública, policía criminal, inteligencia, autoridades prefectorales, filiales especiales...). El proyecto ha demostrado ser de gran éxito en los sucesos de junio de 1996, durante las cumbres del G7 en Lyons, luego en junio de 1998 durante la Copa Mundial de fútbol en París, St Etienne, Lyon, en julio de 2000 durante el accidente del Concorde cerca del aeropuerto Charles de Gaulle y en junio de 2004 durante el 60 Aniversario del Día-D en Normandía [39].

Al finalizar la implementación, ACROPOL dará servicio al 100% a las siete fuerzas policiales generales en Francia. El tamaño de la red UHF es de 1.800 estaciones base, 200 conmutadores, 130.000 terminales de radio, interoperabilidad perfecta con la red VHF Gendarmerie y servicios de emergencia en funcionamiento [39].

- **Proyecto SIRDEE**

El Sistema Integrado Radio Digital de Emergencias del Estado (SIRDEE), es el sistema de comunicaciones digitales vía radio de los servicios públicos de emergencias en todo el ámbito europeo, sus usuarios principales son la Policía Nacional y la Guardia Civil, aunque da soporte a muchos otros cuerpos de emergencia y seguridad de las distintas administraciones del Estado. Una de las principales ventajas de la red SIRDEE es que ha sido diseñada expresamente desde su origen para el uso por parte de los Cuerpos y Fuerzas de Seguridad, a partir de las últimas

tecnologías de comunicaciones digitales y por satélite. Supone un paso gigante respecto a las radios analógicas que todavía emplean la mayoría de los policías [33].

La arquitectura de la red de emergencias española resalta por las siguientes características:

- ❖ **Centros de transmisiones nodales:** La red se materializa estableciendo una retícula o malla de tal manera que cada centro nodal se encuentre como mínimo enlazado a otros dos. Si alguno de los centros con los que un nodo está unido es destruido o deshabilitado, la información se reencamina por el que queda, garantizando así la supervivencia de la red [32].
- ❖ **La redundancia de vías y circuitos:** Entre usuarios potenciales se dispone de un sistema que permite unir transmisor y receptor por múltiples y diferentes caminos. Por ejemplo el enlace entre un Centro de Coordinación de Operaciones Integrado (CECOPI), y un Puesto de Mando Avanzado (PMA) se suele materializar por un enlace satélite, otro de telefonía móvil y además una red de radio trunking, de tal manera que será más difícil que todo falle a la vez [32].

SIRDEE garantizará una cobertura del 90 por ciento del territorio nacional a través de repetidores estáticos convencionales. Asimismo, el Ministerio del Interior distribuirá por todas las provincias otros de carácter portátil, que permitirá conectarse a la red desde cualquier lugar del país [33]. Estos modernos aparatos serán especialmente útiles en operaciones de asistencia o rescate en casos de catástrofes o sucesos que se producen en lugares de complicada orografía.

El protocolo de telecomunicaciones de una misión de SIRDEE contempla las siguientes acciones y procedimientos [32]:

- Identificar claramente la Autoridad de la Emergencia (o dispositivo) a la que debemos servir, normalmente es de nuestra organización, cuando se distribuyen unidades que pasan a trabajar para otra entidad, pudiera variar.
- Definir claramente la misión para las TIC que se deben cumplir de acuerdo con las instrucciones recibidas de la Autoridad de la Emergencia.

- Identificar completamente la cadena de mando, desde el escalón más elevado hasta el último interviniente en los escalones más bajos, debido a la responsabilidad de asegurar el enlace a todos ellos.
- Definir claramente los órganos a enlazar ajenos a la organización en todos los niveles (actuantes, gestores de emergencia, etc.)
- Señalar e identificar desviaciones posibles de los procedimientos de enlace preestablecidos.
- Identificar los servicios TIC especiales. Son aquellos no usuales que no están contemplados en los procedimientos habituales de la organización (videoconferencias, accesos a páginas web específicas, etc.)
- Identificar las calidades requeridas para esos servicios
- Clarificar responsabilidades de enlace con respecto a otros organismos.

En la Tabla 10 se listan las características y servicios de la red de telecomunicaciones de emergencia de España soportada por la estructura de red de la Tabla 10.

Tabla 10. Características y servicios de la red SIRDEE [40]

Características	Servicios
Es una red radio Trunking nacional	Llamadas de grupo, individuales, múltiples, externas, prioritaria, emergencia, generales, cifradas
Constituida por 52 redes provinciales	Fusión de llamadas de grupo
Sobre una superficie de 550.000 Km ²	Entrada tardía
Tecnología TETRAPOL con FDMA	Sobre cifrado
Equipamiento EADS telecom	Gestión de prioridades
Infraestructura telefónica de España	Colgado por inactividad

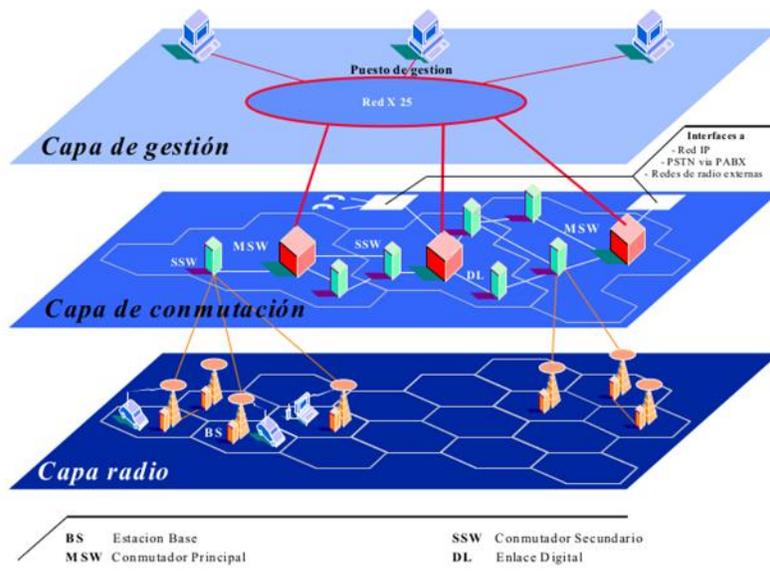


Figura 11. Estructura de la red de emergencia española SIRDEE [6]

La red SIRDEE describe en bloques operativos (Ver Figura 12) conformado por la Gestión Operativa, Gestión Técnico-administrativa y el Centro del Ministerio que sustentan la capacidad de interconexión a sistemas externos, redes analógicas y digitales, redes telefónicas comerciales y privadas y las interfaces con centros de llamadas [40].

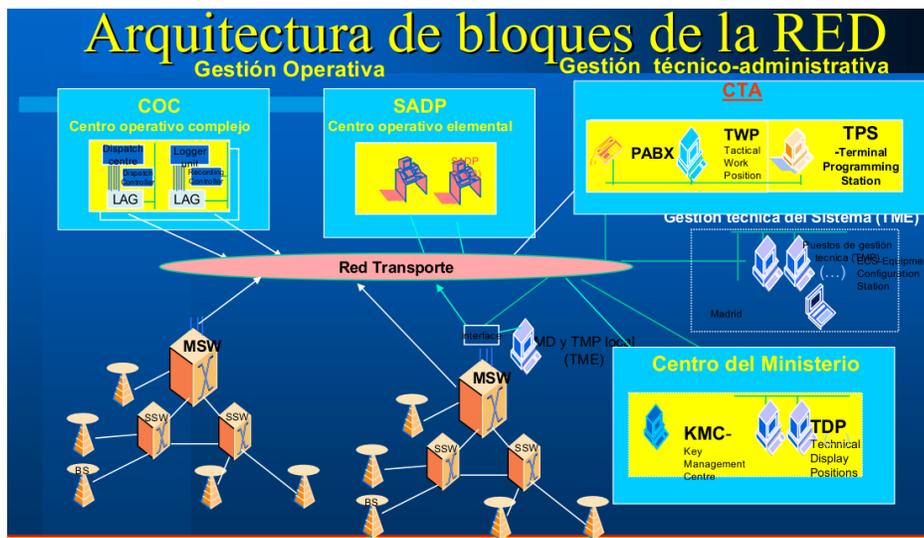


Figura 12. Arquitectura de la red de emergencias española SIRDEE [6]

3.4.2 Norteamérica

En Canadá, el sistema Wireless Priority Service (WPS) otorga a las llamadas de personal esencial un tratamiento prioritario cuando las líneas están congestionadas, con una asignación de cinco niveles de prioridad. El servicio es ofrecido sobre las redes 2G, GSM y CDMA e integra las diferentes entidades que dan soporte en caso de desastres hasta la toma de decisiones cruciales para el manejo de una determinada emergencia [7].

Communications Research Centre Canadá (CRCC), proporcionó una estación terrena fija de banda Ku de 3,0 m junto con una terminal transportable de 1,8 m. Esta estación terrena puede comunicarse con una estación central en CRCC en Ottawa, que tiene conexión con el Canadian Government Fibre Network Service (GFNS). El GFNS a su vez llega a todos los edificios gubernamentales importantes en la región de la capital nacional, por lo que permite a cualquier departamento gubernamental involucrado comunicarse con la región [7].

En Estados Unidos se tiene el National System Communications (NCS), que es una organización conjunta y colaborativa industria-gobierno que provee servicios de telecomunicaciones con prioridad, y programas relacionados al soporte de la seguridad nacional y a los esfuerzos de preparación para situaciones de emergencias a nivel Federal, de Estado y organizaciones locales [20].

El Consejo Nacional de Telecomunicaciones de Seguridad Pública y otras organizaciones han expresado su interés en definir un estándar nacional interoperable para la red de seguridad nacional y seguridad pública (NSPS) de próxima generación con capacidades de banda ancha. EE.UU. ha reservado espectro en la banda de 700 MHz para una red de seguridad pública basada en LTE [36].

- **Sistema de Comunicaciones (NCS) de EE.UU.**

Las comunicaciones de emergencias en Estados Unidos están dirigidas por la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC, por sus siglas en inglés), entidad que facilita la coordinación con otras agencias federales, mejorando la operación coordinada de respuesta inicial durante emergencias y la promoción del uso de prácticas mejoradas en el sistema 911 [41] [1] [20].

Los componentes principales de las comunicaciones de emergencia en Estados Unidos son [41]:

- Procesamiento y distribución de llamadas mediante los Puntos de Respuesta de Seguridad Pública y despacho de llamadas
- El Sistema de Alerta en Emergencia (EAS)
- Comunicaciones de Gobierno con trato prioritario para emergencias (GETS)
- Información y noticias de última hora por transmisiones de radio y/o televisión abierta o por cable.

NCS es una organización conjunta y colaborativa de industria-gobierno que tiene como misión; proveer de servicios de telecomunicaciones prioritarios y programas relacionados al soporte de la seguridad nacional y a los esfuerzos de preparación para situaciones de emergencias tanto a nivel Federal, de Estado, y de organizaciones locales [1].

La NCS debe asegurar la disponibilidad de las telecomunicaciones NS/EP (National Security and Emergency Preparedness) bajo cualquier circunstancia, incluyendo crisis o emergencias, ataques, recuperaciones y reconstrucciones; también lidera los esfuerzos de telecomunicaciones nacionales para la protección de la infraestructura crítica en coordinación con entidades del gobierno y la industria (Ver Figura 13).

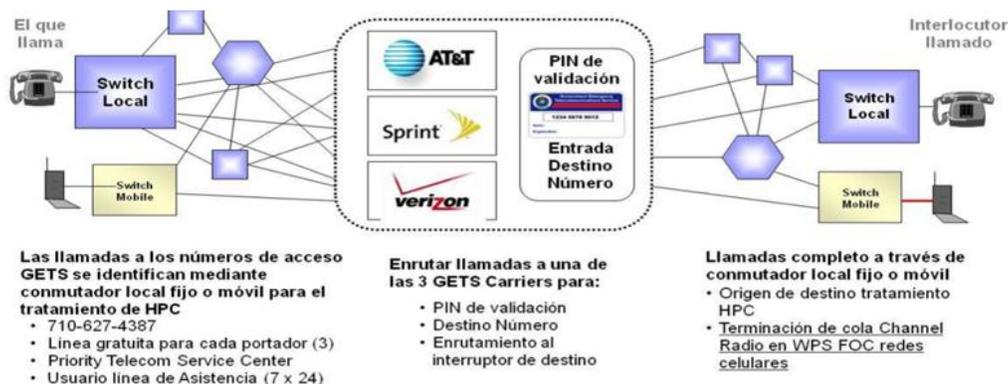


Figura 13. Arquitectura telecomunicaciones de emergencia en Estados Unidos [1]

La NCS tiene implementado principalmente cuatro servicios y programas [1]:

- Government Emergency Telecommunications Service: GETS es un servicio nacional prioritario de telecomunicaciones que facilita las comunicaciones NS/EP dando a cierto grupo de usuarios una alta probabilidad de completar sus llamadas

[1]. A través del servicio, el personal de emergencia recibe un trato prioritario en la red telefónica pública durante cualquier desastre o emergencia. Al usar sus tarjetas de llamadas GETS y sus números de identificación personal, reciben prioridad en la red pública haciendo que sus llamadas se transfieran a la primera línea libre disponible [42].

- **Wireless Priority Service:** Por su parte el WPS permite al personal NS/EP autorizado realizar llamadas durante situaciones de emergencia cuando las redes celulares están congestionadas priorizando el servicio respecto de usuarios que no tienen el servicio WPS. Este servicio puede ser usado conjuntamente con el servicio GETS para asegurar que las llamadas se completen tanto a nivel de la red telefónica conmutada como de telefonía móvil [1].
- **Telecommunications Service Priority Program:** es un programa de la FCC manejado y operado por la NCS que identifica los circuitos NS/EP críticos y prioriza sus servicios de telecomunicaciones para mantener la seguridad nacional o soportar misiones de preparación de emergencia [1].
- **SHARed RESources (SHARES) High Frequency (HF) Radio Program:** provee estaciones de radio HF (que representan 104 organizaciones federales, estatales y de industria localizadas en todos los 50 estados) 32 cuando las comunicaciones normales están destruidas o no se encuentran disponibles. SHARES usa procedimientos comunes de radio y de formateo de mensajes y con más de 250 frecuencias asignadas [43].

3.4.3 Latinoamérica

En Perú se tiene la Red Especial Terrestre de Comunicaciones en Emergencia (RECSE), una red de comunicaciones cuyo objetivo es establecer comunicaciones prioritarias entre las Autoridades ante una situación de emergencia. Dicha red está a cargo de los operadores de servicios públicos de telefonía fija y móvil. De igual manera, como sistema de respaldo de comunicaciones entre autoridades se usa el servicio móvil por satélite llamado, Red Especial Satelital de Comunicaciones en Emergencias (REDSAT) [1].

Después del terremoto del 15 de agosto del 2007, se creó la RECSE con la arquitectura de la Figura 14. En dicha red, los operadores de telefonía fija y móvil están obligados a reservar en forma gratuita y permanente, una capacidad para las comunicaciones de las autoridades [1], activada inmediatamente en estados de emergencia.

Posteriormente, en el 2009 se contrató el servicio móvil por satélite con sistema de respaldo de comunicaciones entre autoridades del Estado, en caso que las redes convencionales no estuvieran disponibles [1].

En Chile, con fin de garantizar las comunicaciones en situación de emergencias se determinó como prioritaria la creación de una red de telecomunicaciones independiente de las redes comerciales y públicas, dando mantenimiento a las redes de VHF/UHF [44].

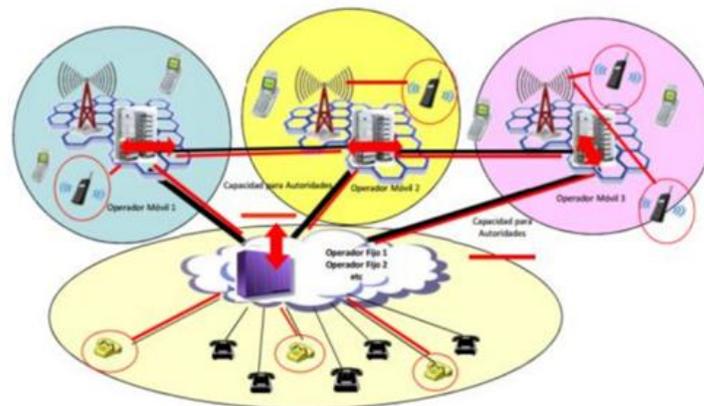


Figura 14. Arquitectura Telecomunicaciones de Emergencia Perú [9]

Capítulo 4: Diagnóstico y Análisis de la RTE de Cundinamarca e Identificación de Requerimientos de Diseño

En la Red de Telecomunicaciones de Emergencia (RTE) de Cundinamarca, la necesidad de un intercambio de información durante una catástrofe o emergencia entre las Autoridades que coordinan las acciones de las entidades operativas y de rescate de Cundinamarca son de vital prioridad para el auxilio a la población, al mismo tiempo que son garantía de la seguridad ciudadana en cualquier situación.

4.1 Estado Actual de las Telecomunicaciones de Emergencia de las Principales Autoridades de Cundinamarca

El diagnóstico de la RTE de Cundinamarca se obtuvo a través de entrevistas y encuestas realizadas a los responsables administrativos y operativos de la mayoría de instituciones que conforman el Sistema regional de gestión de riesgos y desastres. Colaboraron con esta recolección de información primaria entidades tales como: Gestión del Riesgo de Cundinamarca, Delegación Departamental Bomberos de Cundinamarca, CRUE de Cundinamarca, Cruz Roja Nacional y Defensa Civil Colombiana de Cundinamarca.

4.1.1 Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD

La UNGRD dirige, orienta y coordina la gestión del riesgo de desastres en Colombia, fortaleciendo las capacidades de las entidades públicas, privadas, comunitarias y de la sociedad en general, con el propósito de contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de las personas a través del conocimiento del riesgo, su reducción y el manejo de los desastres [45].

Como parte de las estrategias del MinTic está el trabajo conjunto con la UNGRD, en el desarrollo de acciones en pro de la implementación y fortalecimiento de la RNTE. Se trata de una herramienta fundamental que tiene como objetivo permitir las comunicaciones entre las diferentes Autoridades que participan directamente en la gestión del riesgo de desastres, para que la respuesta sea óptima y eficaz antes, durante y después de una emergencia, informó el Director de la UNGR Luis Fernando Piñeros.

4.1.2 Gestión del Riesgo de Cundinamarca

El objetivo de UEGRD es dirigir la implementación de la gestión del riesgo de desastres, atendiendo a las políticas de desarrollo sostenible, y coordinar el funcionamiento y el desarrollo continuo del sistema nacional para la prevención de atención de desastres [45].

Los equipos de telecomunicaciones de la UEGRD de Cundinamarca se registran en elGlosario

ADS: Sistema Descentralizado Autónomo

ANE: Agencia Nacional del Espectro

ASN: Access Network Service

BS: Estación Base

CAE: Centro de Atención de Emergencias

CC: Centros de Control

CDGRD: Consejo Departamental de Gestión del Riesgo y Desastres

CDMA: Acceso Múltiple por División de Código

CECOPI: Centro de Coordinación de Operaciones Integrado

CGFM: Comando General de las Fuerzas Militares

CMGRD: Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo y Desastres

CN: Core network

CRC: Comisión de Regulación de Comunicaciones

CRCC: Communications Research Centre Canadá

CRUE: Centro Regulador de Urgencias y Emergencias

DMO: Direct Mode Operation

DVB-H: Digital Video Broadcasting-Handheld

EAS: Sistema de Alerta en Emergencia

eMANETs: Redes Ad Hoc Móviles de Emergencias

EMS: Sistemas de Gestión de Emergencias

ERCN: Emergency Response Communication Network

ETS: Servicio de Telecomunicaciones de Emergencia

FCC: Comisión Federal de Comunicaciones

FDMA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia

GAN: Generalized Network Architecture

GETS: Comunicaciones de Gobierno con Trato Prioritario para Emergencias

GFNS: Canadian Government Fibre Network Service

HAPS: High Altitude Platforms Station

IMT: Telecomunicaciones Móviles Internacionales

MANET: Red Ad-Hoc Móvil

MBMS: Multimedia Broadcast/Multicast Service

MinTic: Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

MN: Nodos Móviles

NCS: National System Communications

NS/EP: National Security and Emergency Preparedness

NSPS: Red de Seguridad Nacional y Seguridad Pública

OEA: Organización de Estados Americanos

P-25: Project 25
PMU: Puesto de Mando Unificado
PoC: Push to Talk Over Cellular
PPDR: Radiocomunicaciones de Protección Pública y Operaciones de Socorro
PRST: Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones
PS UE: Equipos de Seguridad del Usuario
PTT: Push to Talk
RDCP: Datos con Conmutación de Paquetes
RECSE: Red Especial Terrestre de Comunicaciones en Emergencia
REDSAT: Red Especial Satelital de Comunicaciones en Emergencias
RICE: Red Integrada de Comunicaciones Estratégicas
RMTP: Red Móvil Terrestre Pública
RNTE: Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia
RR: Reglamento de Radiocomunicaciones
RTE: Red de Telecomunicaciones de Emergencia
RTPC: Red Telefónica Pública Conmutada
SHARES: Shared Resources
SIRDEE: Sistema Integrado Radio Digital de Emergencias del Estado
SNGRD: Sistema Nacional de Gestión de Riesgo y Desastre
SNTE: Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia
TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo
TETRA: Trans European Trunked Radio
TIC: Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
TMNs: Nodos Móviles TETRA
TMO: Trunked Mode Operation
UE: Unión Europea
UEGRD: Unidad Especial de Gestión del Riesgo y Desastre
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones
UNGRD: Unidad Nacional de Gestión del Riesgo y Desastres
USRP: Universal Software Radio Peripheral
UWB: Ultra Banda Ancha
WiMax: World Wide Inter-operability for Microwave Access
WMN: Wireless Mesh Network
WPS: Wireless Priority Service

Anexo 1: Recolección de Información Primaria de las Autoridades (Tabla 21 y Tabla 22) y la ubicación de las repetidoras se visualiza en el Anexo 2: Ubicación de las Repetidoras de. La importante función de fortalecer los procesos de comunicación Autoridad-Autoridad, el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres, recae sobre las tres repetidoras funcionales que comparten con los Bomberos de Cundinamarca (ver Tabla 11).

Tabla 11. Estado repetidoras de Gestión del Riesgo y Bomberos de Cundinamarca

Nombre repetidora	Estado
Neusa	Dañada
Manjuy	Funcional
Órganos RPT	Funcional
Cable	Apagada
Emergencias	Funcional

El Director de la UEGRD de Cundinamarca Wilson García Fajardo, informó que “la facilidad y la practicidad de las comunicaciones móviles, el servicio de internet móvil y redes sociales ha creado una pérdida de interés en el soporte a los equipos usados en la red de emergencias”, no obstante, que un desastre natural puede causar trastornos y limitaciones en todas las redes de telecomunicaciones. Además, “el equipo de radio se encuentra limitado por las configuraciones realizadas por el técnico en telecomunicaciones que ya se retiró a finales del 2017”. Por lo tanto, en caso de un desastre, el intercambio de información entre Autoridades se verá seriamente afectadas, dado que la red de comunicaciones no está diseñada para una misión crítica, ya que no cuentan con los atributos requeridos para una red de este tipo, como lo son la alta disponibilidad, seguridad física y lógica de la red, redundancia, baja latencia e interoperabilidad con las instituciones que intervienen directamente en eventos de desastres como son la Policía Nacional, Bomberos, Ejército Nacional, CRUE, Cruz Roja, Socorro Nacional, entre otras.

4.1.3 Delegación Departamental Bomberos de Cundinamarca

El Jefe de Bomberos de Cundinamarca, Cabo Yair Godoy, describió el estado de sus comunicaciones con las demás Autoridades, así: “disponemos de un radio en la central que usa los mismos repetidores y frecuencias de la red de Gestión del Riesgo” (Figura

15). Por su parte, el Teniente Germán Gómez como operador encargado de la red de telecomunicaciones de Bomberos, informó que la red de comunicaciones consta de una antena de VHF, ubicada en la Cr 58 #10-27 de Bogotá, y un radio HYTERA MD786 (Ver Figura 15), y además que “En los últimos 5 años se han cambiado las repetidoras análogas, ubicadas en Neusa, Cerro Manjui, Cerro El Cable, Cerro Órganos y Cerro Viga (ver Anexo 2: Ubicación de las Repetidoras de las Autoridades de Cundinamarca) por repetidoras digitales obteniendo una cobertura del 75% del Departamento de Cundinamarca”.



“En mi experiencia personal atendiendo las telecomunicaciones de emergencia he observado que no hay interoperabilidad directa entre las entidades operacionales de emergencias como la Policía, Defensa Civil, Cruz Roja, Gestión del Riesgo entre otras, generando una deficiencia en los Puestos de Mando Unificado (PMU)”, informó el Teniente Germán Gómez. En caso de un estado de emergencia, la red de Bomberos se enlaza con la red de radioaficionados, conformada por las comunidades: Liga Colombiana de radioaficionados, Liga Radio Bogotá, Radio club el Dorado HK3RD, Federación de

Clubes de Radioaficionados, y la ubicación de estas repetidoras se pueden apreciar en el Anexo 2: Ubicación de las Repetidoras de las Autoridades de Cundinamarca.

4.1.4 Puesto de Mando Unificado - PMU

El propósito de un PMU compuesto por los miembros de las instituciones que participan en la atención de las emergencias autorizados para tomar decisiones, es facilitar la coordinación interinstitucional en la respuesta ante las emergencias [46]. En la participación, como observador, del PMU de las elecciones presidenciales realizado el 27 de mayo del 2018 se identificaron las siguientes limitaciones y dificultades con respecto a las comunicaciones entre las autoridades participantes como se detalla en el Anexo 3: Puesto de Mando Unificado (PMU) para las Elecciones del Día 27 de mayo del 2018 .

- La principal herramienta de comunicación entre Autoridades es la mensajería por whatsapp.
- Existe una incomunicación permanente de los sucesos en tiempo real ocurridos fuera del PMU, debido a que el personal en las diferentes mesas permanece desconectado, de no ser por el servicio de datos móviles de cada persona. Solo la sala de la mesa principal dispone de televisión para poder estar informados mediante los canales privados de televisión, no usan algún otro medio de comunicación, por ejemplo, las emisoras.
- Los reportes eran cada 2 horas, lo que hace tediosa la espera de los reportes y provoca que las personas se dispersen y desatiendan las alertas.
- La comunicación de la sala principal a la secundaria era de una sola vía, sin posibilidad de que el personal de apoyo pudiera responder de forma eficaz.

4.1.5 Defensa Civil Colombiana

En la entrevista realizada a Mauricio Riveros Díaz Coordinador Operativo de la Defensa Civil de Cundinamarca, se pudo confirmar que en materia de radiodifusión, la Defensa Civil posee 90 frecuencias en VHF, cinco estaciones punto a punto regionales VHF, 10 frecuencias para cinco estaciones repetidoras de 40W, con una de ellas fuera de funcionamiento, y asignadas en la regional Cundinamarca que están listadas en Tabla 22 y cuya ubicación detallada se presenta en el Anexo 2: Ubicación de las Repetidoras de.

La asignación de frecuencias se realizó a través de la resolución 236 del 2012 y el 1237 del 2012. El estado de funcionamiento de cada repetidora se relaciona en la Tabla 12.

Tabla 12. Estado repetidoras de la Defensa Civil de Cundinamarca

Nombre repetidora	Estado
Majuy	Funcional
Órganos	Funcional
Cable	Funcional
Cruz Verde	Funcional
Quisique	Dañada

En caso de comunicaciones entre Autoridades, la Defensa Civil tiene acceso a la red departamental de VHF de la Gobernación de Cundinamarca, administrada por los Bomberos de Cundinamarca. El acceso a la red debe ser autorizado por el Coordinador Operativo de Cundinamarca, de esta forma, evitar problemas presentados en el pasado cuando la red era coordinada por la Policía Nacional y al tener deficiencias en políticas, normas y operadores administrativos, era un desorden: “todos se escuchaban con todos y se diluían las responsabilidades” expresó Mauricio Riveros Díaz.

Las dificultades más recurrentes son: personas o instituciones que poseen un radio y por falta de conocimiento regulatorio o responsabilidad legal usan las frecuencias institucionales para realizar sus comunicaciones. La comunicación con las Autoridades se realiza principalmente por una red social “semi-oficial” coordinada por la UNGRD donde se informa sobre las diferentes situaciones que ocurren en la región. Lo anterior se debe a que los CMGRD de algunas poblaciones no cuentan con redes locales de comunicación para realizar los procedimientos operativos. Se afirma que no existe ningún enlace interinstitucional para emergencias y desastres.

Por ejemplo, en caso de realizar una comunicación con un PMU se identifican muchas dificultades operativas, legales y técnicas para realizar una interoperabilidad funcional. Además, que “un PMU debe tener cuatro líneas de comunicación: institucional, departamental, un enlace con el sistema nacional y otra de backup que en la mayoría de los casos no se cumple”. “En el caso de la emergencia de Hidrouitango, se realizó el montaje de un sistema con esas características de comunicación porque el sistema de

comunicaciones de la Defensa Civil da para eso y tiene un equipo de trabajo que garantiza la instalación de esos sistemas” informó Mauricio Riveros Díaz.

En caso de una emergencia que interrumpa el servicio de comunicaciones celulares, la Defensa Civil cuenta con el apoyo de la comunidad de radioaficionados, quienes tienen la capacidad de crear un enlace VHF o UHF, y con un recurso nacional pueden obtener acceso a la telefonía satelital. En las emergencias se usa el Puesto de Mando Nacional que funciona dónde y cuándo se amerite.

En materia de interoperabilidad e integración de tecnologías, la Defensa Civil usa un integrador de frecuencias que manualmente se usa para transmitir una comunicación en cualquier red ya sea VHF, celular o satelital.

4.1.6 Fuerzas Militares

Como se estipula en la Resolución 449 del 2013 del MinTic, el Comando General de las Fuerzas Militares (CGFM) tiene implementado en parte del país una red de acceso troncalizado en la banda de 800 MHz utilizando el protocolo P-25 tanto en la interfaz al aire de los canales de voz como en el canal de control de cada sitio, que incluye los elementos necesarios para la integración y compatibilidad a nivel de hardware y software con la antigua red de las Fuerzas Militares llamada Red Móvil Digital y la Red Integrada de Comunicaciones Estratégicas (RICE) [47].

La administración de usuarios dentro de la Red del CGFM lo realizan por consolas de despacho IP de referencia Motorola® MCC7500. Las consolas de despacho permiten a la Armada Nacional de Colombia la administración de sus usuarios de forma independiente a la administración que el CGFM realiza sobre sus usuarios [47].

El sistema está diseñado para garantizar una disponibilidad y un funcionamiento continuo 24/7 y la capacidad de monitoreo ininterrumpido del desempeño del sistema y sus componentes Built In Test. Con dos transmisores en la ciudad de Bogotá conectados a la red ASTRO 25 del CGFM a través de radio enlaces terrestres integrados a la infraestructura de la red de transporte de la Red Integrada de Comunicaciones y con 512 Kbps a través de estaciones satelitales compatibles y gestionables con las redes

existentes a cargo de la jefatura de control de comunicaciones y sistemas del Comando General [47].

4.1.7 Centro Regulador de Urgencias y Emergencias – CRUE

El CRUE es el encargado de coordinar la atención, resolución de urgencias médicas, las emergencias y los desastres de Cundinamarca a través del Sistema de Emergencias Médicas [48]. Las repetidoras listadas en la Tabla 22 soportan las comunicaciones de la red del CRUE conformada por las subredes hospitalarias, las ambulancias y en casos especiales dan apoyo a Gestión del Riesgo. El estado de las repetidoras se muestra en la Tabla 13 y su ubicación en el Anexo 2: Ubicación de las Repetidoras de las Autoridades de Cundinamarca.

Además, el CRUE cuenta con una red de líderes comunitarios que dan conocimiento de las emergencias de primera mano a través de las redes de telefonía fija y celular.

Tabla 13. Estado repetidoras del CRUE de Cundinamarca

Nombre repetidora	Estado
Neusa	Funcional
Organos	Funcional
Viga	Funcional
Granada	Funcional
Manjui	Funcional

4.1.8 Cruz Roja Colombiana

“La Cruz Roja de Cundinamarca, posee 3 repetidoras digitales que dan una cobertura del 60% de Cundinamarca. Esta cobertura esta distribuida en el centro, sur oriente y sur occidente del departamento, además cuenta con el respaldo de las comunicaciones de Socorro Nacional (ver Figura 16)” informó Juan José Díaz, jefe de telemática de la Cruz Roja de Cundinamarca.



Figura 16. Central de telemática de Socorro Nacional - CITEL

Finalizando el diagnóstico, se resume la red de comunicaciones que se usa en estados de emergencia y desastre de las Autoridades coordinadoras en la Figura 17. Cada entidad posee su propia red independiente y aislada de la red de las otras entidades, en tal caso de realizar una misión de interoperabilidad se requiere configurar los equipos y hasta en algunos casos realizar el desplazamiento a la ubicación de la repetidora para que permita enlaces de entidades externas.

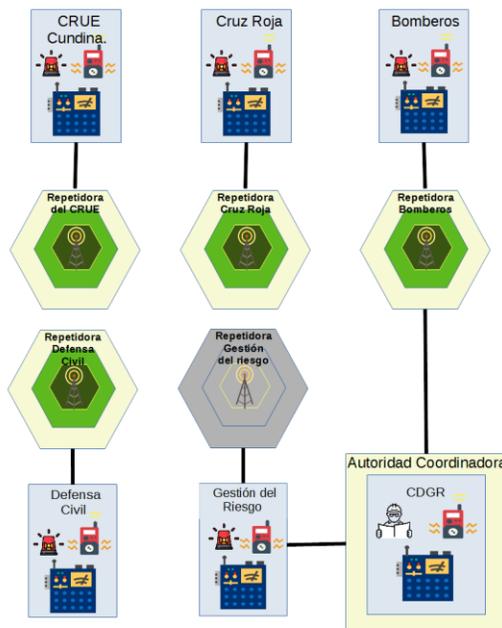


Figura 17. Diagnóstico de la red de comunicaciones de las Autoridades de Cundinamarca

4.2 Simulación y Análisis

La simulación de cobertura de las repetidoras de las principales Autoridades, facilitó conocer que parte del territorio de Cundinamarca cuenta con la capacidad de comunicación por radio VHF, y se identificó cuáles son las zonas que debido a su orografía se encuentran con limitaciones de comunicación. Dado el resultado y el análisis de la simulación se pudieron plantear el uso de equipos de apoyo como repetidoras las portátiles.

La simulación de la cobertura de las repetidoras de Gestión del Riesgo y Bomberos se realizó con el software libre Radio Mobile y se utilizaron las características de la Tabla 22 del Glosario

ADS: Sistema Descentralizado Autónomo

ANE: Agencia Nacional del Espectro

ASN: Access Network Service

BS: Estación Base

CAE: Centro de Atención de Emergencias

CC: Centros de Control

CDGRD: Consejo Departamental de Gestión del Riesgo y Desastres

CDMA: Acceso Múltiple por División de Código

CECOPI: Centro de Coordinación de Operaciones Integrado

CGFM: Comando General de las Fuerzas Militares

CMGRD: Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo y Desastres

CN: Core network

CRC: Comisión de Regulación de Comunicaciones

CRCC: Communications Research Centre Canadá

CRUE: Centro Regulador de Urgencias y Emergencias

DMO: Direct Mode Operation

DVB-H: Digital Video Broadcasting-Handheld

EAS: Sistema de Alerta en Emergencia

eMANETs: Redes Ad Hoc Móviles de Emergencias

EMS: Sistemas de Gestión de Emergencias

ERCN: Emergency Response Communication Network

ETS: Servicio de Telecomunicaciones de Emergencia

FCC: Comisión Federal de Comunicaciones

FDMA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia

GAN: Generalized Network Architecture

GETS: Comunicaciones de Gobierno con Trato Prioritario para Emergencias

GFNS: Canadian Government Fibre Network Service

HAPS: High Altitude Platforms Station

IMT: Telecomunicaciones Móviles Internacionales

MANET: Red Ad-Hoc Móvil

MBMS: Multimedia Broadcast/Multicast Service
MinTic: Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
MN: Nodos Móviles
NCS: National System Communications
NS/EP: National Security and Emergency Preparedness
NSPS: Red de Seguridad Nacional y Seguridad Pública
OEA: Organización de Estados Americanos
P-25: Project 25
PMU: Puesto de Mando Unificado
PoC: Push to Talk Over Cellular
PPDR: Radiocomunicaciones de Protección Pública y Operaciones de Socorro
PRST: Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones
PS UE: Equipos de Seguridad del Usuario
PTT: Push to Talk
RDGP: Datos con Conmutación de Paquetes
RECSE: Red Especial Terrestre de Comunicaciones en Emergencia
REDSAT: Red Especial Satelital de Comunicaciones en Emergencias
RICE: Red Integrada de Comunicaciones Estratégicas
RMTP: Red Móvil Terrestre Pública
RNTE: Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia
RR: Reglamento de Radiocomunicaciones
RTE: Red de Telecomunicaciones de Emergencia
RTPC: Red Telefónica Pública Conmutada
SHARES: Shared Resources
SIRDEE: Sistema Integrado Radio Digital de Emergencias del Estado
SNGRD: Sistema Nacional de Gestión de Riesgo y Desastre
SNTE: Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia
TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo
TETRA: Trans European Trunked Radio
TIC: Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
TMNs: Nodos Móviles TETRA
TMO: Trunked Mode Operation
UE: Unión Europea
UEGRD: Unidad Especial de Gestión del Riesgo y Desastre
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones
UNGRD: Unidad Nacional de Gestión del Riesgo y Desastres
USRp: Universal Software Radio Peripheral
UWB: Ultra Banda Ancha
WiMax: World Wide Inter-operability for Microwave Access
WMN: Wireless Mesh Network
WPS: Wireless Priority Service

Anexo 1: Recolección de Información Primaria de las Autoridades y la frecuencia dedicada a comunicaciones de emergencias en la banda VHF de 143.9125 MHz para Colombia estipulado en la Resolución 1201 del 2004. El área de cobertura se aprecia en la Figura 18.

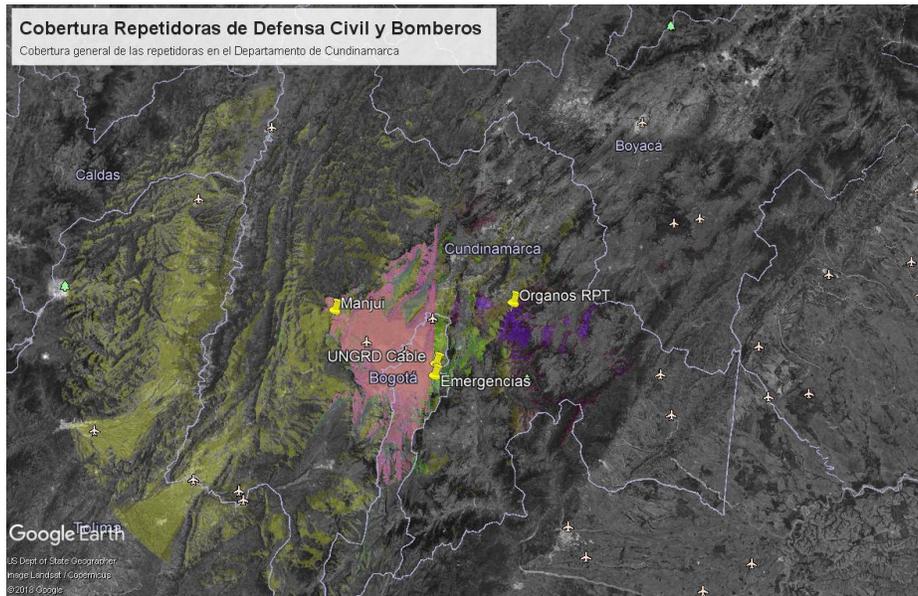


Figura 18. Simulación de cobertura de Gestión del Riesgo y Bomberos

La repetidora ubicada en Manjui detallada en el

Anexo 6: Cobertura de las Repetidoras de las Principales Autoridades de Cundinamarca brinda la mayor cobertura en el occidente de Cundinamarca. La repetidora de Neusa hasta el periodo 2019-1 se encontraba deshabilitada dejando el norte del Departamento sin cobertura como se aprecia en el Anexo 6: Cobertura de las Repetidoras de las Principales Autoridades de Cundinamarca las repetidoras de UNGRD Cable y emergencia dan cobertura al Distrito. Las regiones críticas sin la suficiente cobertura identificada por las simulaciones y soportadas en las entrevistas incluye el oriente de Cundinamarca como es Medina, Guavio y Almeidas.

En cuanto a la simulación de cobertura de las repetidoras de la Defensa Civil de Cundinamarca basado en los parámetros técnicos del Anexo 1: Recolección de Información Primaria de las Autoridades, y la frecuencia otorgada para comunicaciones de emergencias en la banda VHF de 143.91 MHz para Colombia estipulado en la Resolución 1201 del 2004, se aprecia en la Figura 19.

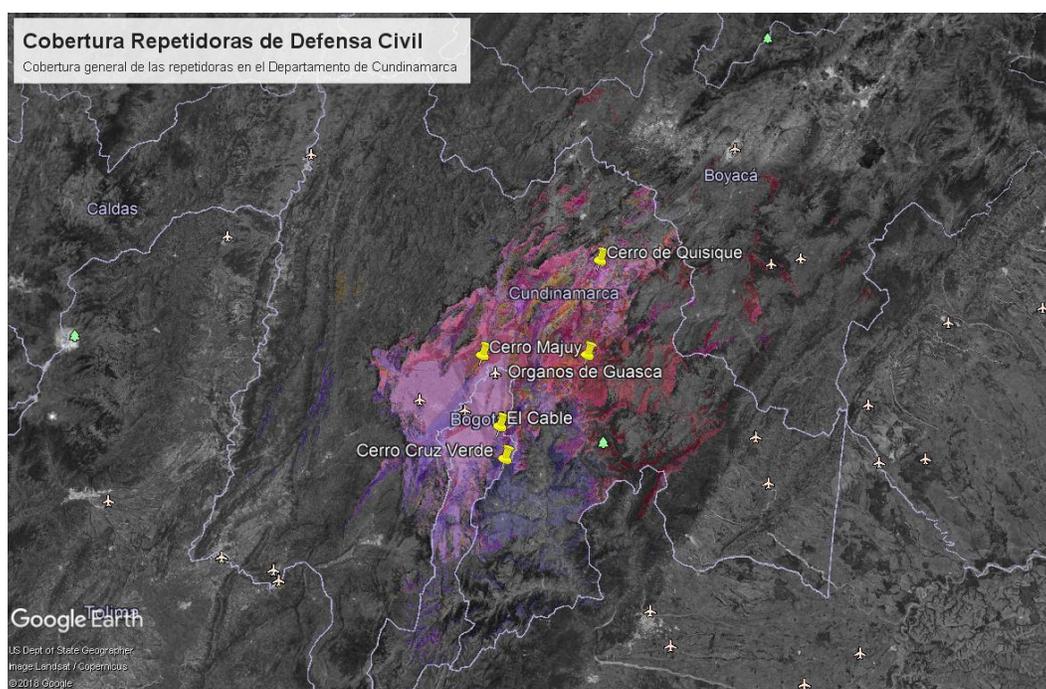


Figura 19. Simulación de cobertura de la Defensa Civil de Cundinamarca

La cobertura de las repetidoras ubicada en Cerro Majuy y Órganos de Guasca detalladas en el Anexo 6: Cobertura de las Repetidoras de las Principales Autoridades de Cundinamarca, brinda cobertura al occidente de Cundinamarca hasta el municipio de

Facatativá y el oriente del departamento hasta el municipio de Gachalá respectivamente. La repetidora de Cerro Quisique enlaza al norte. Cruz verde y El Cable cubren el distrito como se detalla en el Anexo 6: Cobertura de las Repetidoras de las Principales Autoridades de Cundinamarca respectivamente.

El CRUE de Cundinamarca dispone de la infraestructura suficiente para dar cubrimiento a la mayor parte del departamento, puede realizar enlaces con Boyacá, Caldas y Tolima, sin embargo tiene limitación de cobertura con las regiones de Oriente y Medina como se aprecia en la Figura 20.

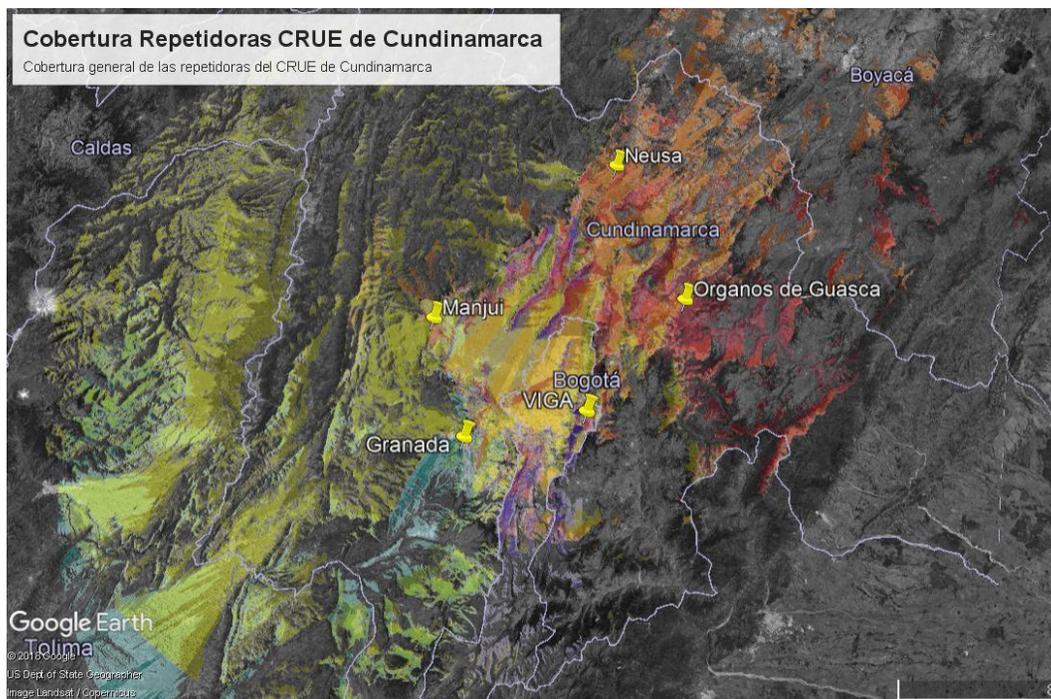


Figura 20. Simulación de cobertura del CRUE de Cundinamarca

Dado el resultado y análisis de las coberturas parciales de las comunicaciones de las principales Autoridades del Departamento de Cundinamarca, se planteó como parámetro de diseño, la integración de infraestructura y tecnologías de radio para aumentar la capacidad de comunicación de las Autoridades en una mayor parte del territorio del Departamento, además del uso de repetidoras portátiles para las zonas más alejadas o ubicaciones con una difícil orografía.

4.3 Requerimientos para el Diseño de la Red de Telecomunicaciones de Emergencias

A partir del diagnóstico la RTE de Cundinamarca, del análisis de las tecnologías emergentes y las recomendaciones de los organismos internacionales, los nuevos sistemas de comunicaciones de emergencia Autoridad-Autoridad deberán cumplir, como mínimo, con los siguientes criterios:

- Enlace entre las repetidoras, independientemente del lugar donde se encuentren.
- Alternativas de comunicación a las redes de telefonía móvil y de un fácil soporte.
- Una red de comunicación entre Autoridades de la UNGRD que soporte una misión crítica (Alta disponibilidad, seguridad física y lógica de la red, redundancia, robustez, baja latencia e interoperabilidad)
- Interoperabilidad entre Autoridades administrativas y operativas.
- Centro administrativo de integración de redes de telecomunicaciones
- Servicio de comunicación interinstitucional administrado por entidades oficiales
- Las centrales de comunicación deben tener un enlace de backup en caso de emergencia

A continuación, se definen los requisitos técnicos, operativos y administrativos para el diseño de la red de telecomunicaciones de emergencia entre Autoridades.

4.3.1 Requisitos técnicos

Los requisitos técnicos prioritarios para las redes de telecomunicaciones de emergencia son los siguientes:

- **Disponibilidad de la red:** La disponibilidad en tiempo está especificada típicamente como de tres a cuatro nueves, por ejemplo 99,98% o mejor en todo momento. Otros especifican diferentes requerimientos para diferentes momentos, como el 99,9% para el periodo de un año, 99,7% para un mes. Este alto grado de disponibilidad incluye el acceso a las redes en todo momento (bajo condiciones de alto tráfico) [49] [20] [1].
- **Baja latencia:** La ETSI TR 102-022-1 especifica que el tiempo de establecimiento de llamadas de voz debe ser menor a 200 milisegundos y el tiempo de

establecimiento de llamadas y retardo de transmisión de datos/voz de extremo a extremo debe ser menor a 1 segundo [49] [20].

- **Calidad de servicio - QoS:** La solución de BB debe ser capaz de administrar aplicaciones que tienen diferentes requisitos para la QoS, de modo que en una red congestionada, las aplicaciones con un requisito de QoS baja puedan ralentizarse para permitir que pasen aquellas con una QoS más alta. La solución debe soportar parámetros para establecer QoS y administrarlos dinámicamente [49].
- **Robustez:** Las redes deben ser muy resistentes a diferentes tipos de fallas e incluir varios niveles de redundancia. El equipo de conmutación de la red debe ser totalmente redundante, con conmutación distribuida geográficamente. La interconexión entre las estaciones bases también debe ser completamente resiliente e incluir líneas de respaldo entre las estaciones bases claves. Algunos sitios importantes de estaciones base de la red deben poseer sitios alternos disponibles en caso de fallo del sitio primario [20] [49].
- **Seguridad:** Se requiere proveer diferentes capas de cifrado incluyendo la interface aire y la comunicación extremo a extremo. Otras características de seguridad requieren autenticación en las dos vías. Es importante tener en cuenta este atributo en la RNTE en razón a que la información que eventualmente transite por la red puede ser información sensible que no debe ser interceptada por personas ociosas o malintencionadas [20].

4.3.2 Requisitos operativos

Los requisitos operativos en las comunicaciones Autoridad-Autoridad se listan en la Tabla 14 y los requisitos de las telecomunicaciones de emergencia son los siguientes:

- **Servicios:** Se identifican un conjunto de aplicaciones tomando como referencia el informe UIT M.2033, donde se indica el nombre de la aplicación, su característica, un ejemplo de ellas y el grado de importancia medido en alto (A), medio (M) y bajo (B) para tres escenarios posibles: Operación día a día – PP (1), Operación en emergencias – PP (2) y Operación en recuperación de desastres – DR [20].

Tabla 14. Requisitos operativos en comunicaciones de Autoridad-Autoridad

Servicio	Característica	Descripción	PP (1)	PP (2)	DR
Voz	Persona a persona	Llamada y direccionamiento selectivo	A	A	A
	Uno a varios	Comunicación de despacho y de grupo	A	A	A
	Seguridad	Cifrado/codificación de voz	M	M	M
Facsímil	Persona a persona	Mensajería breve de estado	B	B	A
	Uno a varios (radiodifusión)	Alerta de despacho inicial (dirección, estado de incidente)	B	B	A
Mensajería	Persona a persona	Estado, mensajes breves, correo electrónico breve	A	A	A
	Uno a varios (radiodifusión)	Alerta de despacho inicial (dirección, estado del incidente)	A	A	A
	E-mail con archivos adjuntos	Mensajería rutinaria de correo electrónico	M	M	B
Transferencia de imágenes	Descarga/envío de imágenes físicas comprimidas	Biometría (huellas dactilares)	A	A	M
		Foto de identificación	A	A	M
		Planos de edificios	A	A	A
Video	Descarga/envío de vídeo comprimido	Secuencias de vídeo	M	L	L
		Secuencia de vídeo del incidente en curso	A	A	M
	Secuencias de vídeo, conexión de vídeo en directo	Comunicación de vídeo desde cámaras inalámbricas utilizadas por bomberos en el interior de edificios	A	A	A
		Evaluación de escenarios de incendios/inundaciones desde plataformas aerotransportadas	M	A	M
	Acceso bases de datos	Acceso intranet/internet	Acceso a planos arquitectónicos de edificios, ubicación de materiales peligrosos	A	A
Navegación web		Consulta de números telefónicos en el directorio de la organización de PPDR	M	M	B

Servicio	Característica	Descripción	PP (1)	PP (2)	DR
Obtención de imágenes	Imágenes de alta resolución	Descarga de imágenes de exploración satelital de la tierra	B	B	M

- **Control:** Se estima un alto grado de control, por ejemplo, permisos de acceso priorizado, garantizar capacidad reservada cuando sea necesario, grupos de llamadas priorizadas, entre otras. Los requerimientos de control también incluyen la habilidad para manejo, administración y actualización de colas en tiempo real [20].
- **Interoperabilidad:** Hoy por hoy, hay una necesidad obligatoria para que las diferentes Autoridades del SNTE interoperen entre sí (por ejemplo, Policía, Bomberos y los servicios asociados), y a pesar de que la RNTE, está originalmente definida para las entidades como la UNGRD, CDGR y CMGR, estas deben interactuar entre sí y con otros organismos del Estado. Para ellos se utilizan dispositivos que permitan la interoperabilidad entre las diferentes redes y tecnologías [20].

Según la recomendación UIT E.107: ETS y marco de interconexión para implementaciones nacionales del ETS, la interconexión de redes e interfuncionamiento de protocolos deberá garantizarse la compatibilidad entre las correspondientes redes en cuanto a la señalización de indicadores ETS que se transmiten a través de las fronteras de las redes (por ejemplo, entre una red de circuitos conmutados y una red de la próxima generación) y el trato prioritario del ETS [50]. Las tecnologías disponibles para realizar interoperabilidad e interconexión de servicios, se resaltan las siguientes:

- **PoC (Push To Talk over Cellular):** Es una opción de servicio de las redes celulares que permiten a los suscriptores usar su teléfono como un radio de dos vías, con especial aplicación en las localidades donde existen redes de radio en banda VHF, HF y se pueden interconectar a la red mediante la funcionalidad PoC. Definido en el estándar desarrollado por el Open Mobile Alliance como un servicio

de comunicación bidireccional que permite a los usuarios PoC participar en una comunicación inmediata con uno o más usuarios PoC. Permite unir el audio de un terminal Poc con otros terminales, que están adscritos a un mismo grupo entre ellos las redes de radio de banda VHF y HF existentes [20].

- **Hub Satelital:** Sistema de redundancia de red para eventos de emergencia, permite conectar estaciones Broadband Area Network portátiles, portables y radio bases LTE con enlaces backhaul satelitales.
- **Media Gateway:** Un media Gateway es un dispositivo de telecomunicaciones que permite interconectar sistemas telefónicos de distintas tecnologías, tal que las llamadas originadas en un sistema, puedan ser entregadas en la red de destino y de esta forma permitir la interconexión de tecnología obsoleta con los sistemas modernos.

4.3.3 Requisitos administrativos

A continuación se listan las Autoridades pertenecientes al RNTE de Cundinamarca, responsables de la coordinación de operativos en prevención y atención en emergencias y desastres mencionadas en la Ley 1523 del 2012 [16]:

- UNGRD
- CDGRD
- Consejo Distrital de Gestión de Riesgo
- La central regional de las entidades Operativas del SNGRD: Defensa Civil Colombiana, Cruz Roja Colombiana, Sistema Nacional de Bomberos.
- Entidades del estado: Presidencia de la República, Ministerios, Departamento Nacional de Planeación, entre otros.
- Otras entidades: Policía Nacional, Fuerzas Militares, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Fiscalía.
- CAE y Sistemas integrados de emergencia y seguridad.

4.3.4 Prioridad de comunicación en una emergencia

Las redes públicas de telecomunicaciones con frecuencia quedan inutilizadas e interrumpidas durante las primeras horas que siguen a las catástrofes. Se deben

establecer sin demora enlaces de comunicaciones eficaces y completas entre las Autoridades encargadas de la coordinación de operaciones y la logística de socorro [51].

La Ley 1523 del 2012 define el flujo jerárquico entre autoridades que comparten información y coordinan acciones durante una catástrofe, en el Anexo 5: Ubicación Física de las Principales Autoridades y la Tabla 15 se listan las oficinas y centrales de mando de las Autoridades coordinadas por Gestión del Riesgo del Departamento de Cundinamarca:

Tabla 15. Autoridades responsables en estados de emergencia para Cundinamarca

Autoridad	Ubicación
Presidencia de la República	Carrera 8 No.7-26, Bogotá
Consejo Nacional para la Gestión del Riesgo	Avenida Calle 26 No. 92-32 Edificio Gold 4 Piso 2, Bogotá
Unidad Nacional Gestión de Riesgo y Desastre (UNGRD)	Avenida Calle 26 No. 92-32 Edificio Gold 4 Piso 2, Bogotá
Comité de conocimiento, reducción del riesgo y manejo de desastres	Avenida Calle 26 No. 92-32 Edificio Gold 4 Piso 2, Bogotá
Gobernación	Calle 26 No 51-53, Bogotá
Consejo Departamental para la Gestión del Riesgo	Carrera 58 #10-05, Bogotá
Alcaldía	Carrera 8 #10-65, Bogotá
Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo	Carrera 58 #10-05, Bogotá
Centro Operativo de Emergencias - COE	Alcaldía o Av. de las Américas #54-95
Defensa Civil Colombiana seccional Cundinamarca	Carrera 58 # 10 – 29, Bogotá
Cruz Roja seccional Cundinamarca	Av. 68 No 68B-31, Bogotá
Delegación Departamental de Bomberos de Cundinamarca	Cra. 58 #10-39, Bogotá
Policía Nacional de Cundinamarca	Carrera 58 #9-43, Bogotá
Departamento de Planeación	Calle 26 #51-53, Bogotá

Como instancias de coordinación, asesoría, planeación y seguimiento se estipulan los Consejos departamentales, distritales y municipales de Gestión del Riesgo, destinados a garantizar la efectividad y articulación de los procesos de conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y de manejo de desastres en la entidad territorial correspondiente [16]. Los consejos están dirigidos por el gobernador o el alcalde de la respectiva jurisdicción y las entidades descentralizadas del orden departamental, distrital o municipal y representantes del sector privado y comunitario.

En una emergencia el SNGRD plantea en la Ley 1523 del 2012 un esquema de flujo de información, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres [16]. En base a lo anterior, se identifica la topología del flujo de datos entre las Autoridades en un estado de emergencia en el Departamento de Cundinamarca (ver Figura 21 y Figura 22) [52].

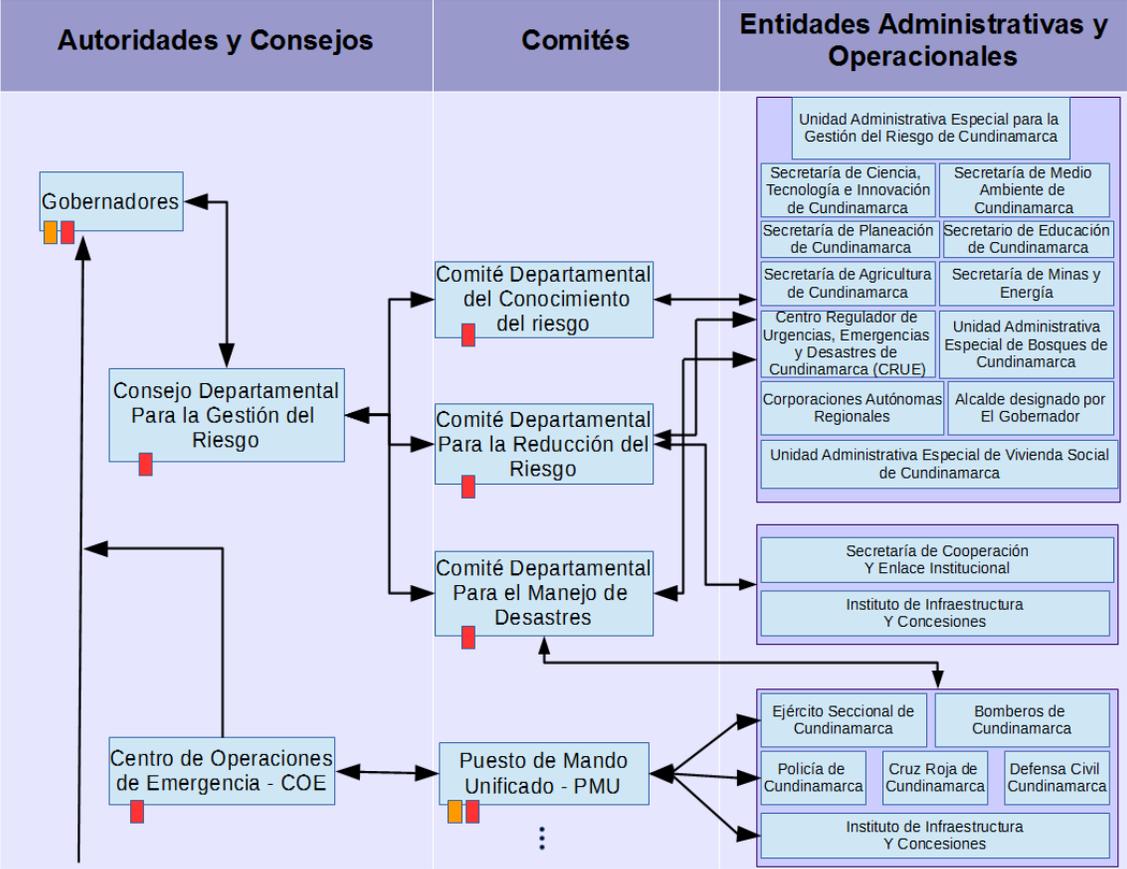


Figura 21. Flujos de información entre Autoridades departamentales en una emergencia

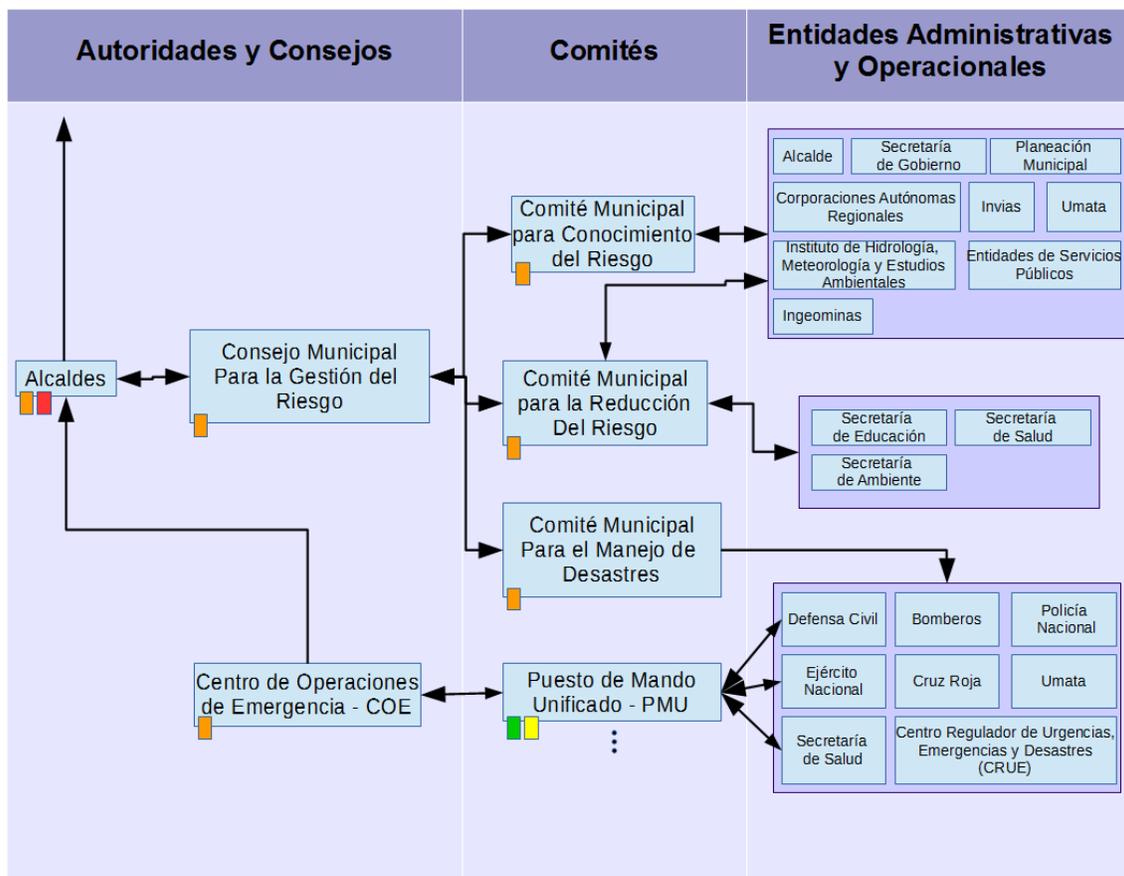


Figura 22. Flujos de información entre Autoridades municipales en una emergencia

La Figura 22 se debe considerar también aspectos de capacidad de respuesta, frente a la magnitud del evento. Para lo cual la alerta naranja en los departamentos dependerá del número de municipio en emergencia y la alerta roja, se activara cuando requiera apoyo del nivel nacional, es decir cuando la capacidad municipal y departamental ha sido superada por la emergencia [53] (ver Tabla 16).

Tabla 16. Niveles de alerta establecido para municipios de Cundinamarca [52]

Nivel de alerta	Niveles de emergencia	Ejemplo
Verde 1	Es posible manejarse con los recursos municipales, sin acudir a declaratoria de calamidad pública o urgencia manifiesta	<ul style="list-style-type: none"> Incendio estructural sin presencia de materiales peligrosos. Accidente vehicular sin afectación mayor a bienes y personas
Amarillo 2	Es posible manejarse con los recursos municipales, sin acudir a declaratoria de calamidad pública o urgencia manifiesta	<ul style="list-style-type: none"> Incendios forestales sin afectación a la población. Rescate en montaña.

Nivel de alerta	Niveles de emergencia	Ejemplo
		<ul style="list-style-type: none"> • Deslizamientos pequeños sin afectación a la población
Naranja 3	Es posible atenderse con los recursos existentes a nivel municipal, pero amerita declaratoria de urgencia manifiesta o calamidad pública en caso de requerirse apoyo a nivel departamental en líneas puntuales	<ul style="list-style-type: none"> • Atentado terrorista • Inundaciones
Rojo 4	Para atender este evento se requiere declaratoria de calamidad pública, elaboración de Plan de Acción Específico y apoyo del nivel departamental	<ul style="list-style-type: none"> • Sismo mediana magnitud • Accidente aéreo urbano • Incendios forestales con amplia cobertura
Rojo 5	Para atender este evento se requiere declaratoria de calamidad pública, elaboración de Plan de acción específico y apoyo del nivel departamental y nacional	<ul style="list-style-type: none"> • Sismo de gran magnitud

El flujo de información proveniente de diferentes organismos e instituciones implica la integración de fuentes de información y recursos procedentes de actores y canales diferentes. Las Autoridades que intervienen en estas situaciones son la UNGRD que es la entidad encargada de la coordinación de todo el SNGRD. El Comité para el Conocimiento del Riesgo son los encargados de asesorar y planificar la implementación del proceso de conocimiento del riesgo. El Comité para la Reducción del Riesgo asesora y planifica la implementación del proceso de reducción del riesgo de desastres. El Comité para el Manejo de Desastres es el encargado de asesorar y planificar la implementación del proceso de manejo de desastres [16]. Consejos Departamentales, distritales y municipales para la Gestión del Riesgo son las instancias de coordinación, asesoría, planeación y seguimiento quienes deben garantizar la efectividad y articulación de los procesos de la Gestión del Riesgo en la entidad territorial que cada uno le corresponde.

Los servicios de comunicación en estados de emergencia deben tener capacidades dignas de confianza y que garanticen la disponibilidad y fiabilidad de las telecomunicaciones mínimas necesarias [54], independiente a la tecnología del portador que deben cumplir en los instantes posteriores de ocurrir el desastre.

De las visitas realizadas a las Autoridades departamentales y al PMU del 27 de mayo del 2018 (Ver Anexo 3: Puesto de Mando Unificado (PMU) para las Elecciones del Día 27 de mayo del 2018), se identificaron los servicios utilizados entre las Autoridades y sus actividades de monitoreo y atención de emergencias, igualmente, se relacionan las tecnologías de éxito que proporcionan una solución a las necesidades de comunicación entre Autoridades identificadas con anterioridad y se resumen en la Tabla 17:

Tabla 17. Comparación de tecnologías con a los requerimientos de servicios entre Autoridades

Comparación de servicios requeridos y tecnologías propuestas														
Servicios requeridos Tecnologías propuestas	Voz			Facsimil		Mensajería			Transferencia de imágenes	Vídeo		Acceso bases de datos		Obtención de imágenes
	Persona a persona	Uno a varios (radiodifusión)	Seguridad	Persona a persona	Uno a varios	Persona a persona	Uno a varios (radiodifusión)	E-mail con archivos adjuntos	Descarga/envío de imágenes físicas comprimidas	Descarga/envío de vídeo comprimido	Secuencias de vídeo, conexión de vídeo en directo	Acceso intranet/internet	Navegación web	Imágenes de alta resolución
Telefonía celular	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Telefonía fija	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Datos móviles	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
Internet	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Radio (HF - VHF - UHF)	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TETRA	X	X	X	-	-	X	X	-	X	-	-	X	X	-
	X	X	X	-	-	X	X	-	X	-	-	X	X	-
	X	X	X	-	-	X	X	-	X	-	-	X	X	-
P-25	X	X	X	-	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-
	X	X	X	-	-	X	X	-	-	-	-	X	-	-
	X	X	X	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-
TETRAPOL	X	X	X	-	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-
	X	X	X	-	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-
	X	X	X	-	-	X	X	-	X	-	-	-	-	-
Ad Hoc	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Capítulo 5: Diseño de una Red Regional Integrada y Prueba Piloto en Cundinamarca

En este capítulo se describe el diseño, elementos y parámetros de la red de comunicaciones de emergencia basada en el diagnóstico realizado a las entidades del SNTE, tecnologías y redes de éxito internacional, además, los parámetros básicos identificados en las recomendaciones de la UIT sobre las comunicaciones de emergencia. La validación de la red se realizó mediante de una prueba piloto con las Autoridades encargadas de coordinar y atender emergencias y desastres en Cundinamarca.

5.1 Bases del Diseño de la Red

El diseño está planteado en el marco de la tendencia mundial de redes híbridas y consiste en la integración de diferentes tecnologías que componen el sistema de telecomunicaciones de emergencia entre Autoridades bajo una sola arquitectura abierta y escalable. En el diseño propuesto se expone que alternativas de respuesta puede tener el sistema en la comunicación Autoridad-Autoridad bajo los diferentes niveles de emergencia descritos en la Tabla 16 del Capítulo anterior.

La integración considera compartir la misma tecnología e incluso la misma infraestructura para suplir las necesidades de comunicación y cobertura en los niveles más altos de dirección durante una emergencia. En tal caso de compartir la misma tecnología entre diferentes Autoridades, como se describe en la sección 3.2, bajo subsistemas P-25 puede operar cada Autoridad en sus comunicaciones respectivas de forma aislada sin necesidad de interferir con la de otras entidades [55]. En caso de una emergencia se puede integrar en una sola red a través de la misma configuración del sistema. La UIT en la Recomendación M.2015 sugiere que la utilización de bandas de frecuencias comunes permitirá a las administraciones beneficiarse de [56]:

- Un mayor potencial para la interoperabilidad.
- Una orientación clara en materia de normalización.
- Un mayor volumen de equipos que se traduce en economías de escala, unos equipos más económicos y asequibles, y una mayor disponibilidad de equipos que beneficia, en particular, a los países en desarrollo.

- Una mejora de la gestión y la planificación del espectro.
- Una ayuda internacional más efectiva en caso de catástrofe y grandes eventos.

El diseño de la red de comunicaciones de emergencia, se basa en el diseño previo de una arquitectura híbrida que integra los principales elementos que componen la red de emergencias el Departamento de Cundinamarca.

5.2 Descripción de la Arquitectura

La arquitectura propuesta se compone de cinco módulos (Ver Figura 23) que inicialmente describe las tecnologías actualmente en uso en las comunicaciones de emergencia de las Autoridades de Cundinamarca, las tecnologías de soporte, las redes y tecnologías emergentes, resultado del análisis de las comunicaciones de emergencia de éxito en otros países y su relación con los servicios soportados en los diferentes niveles de emergencia que fueron resumidos en la Tabla 17 del capítulo anterior. El segundo módulo presenta la interfaz en la que se soporta cada tecnología para realizar la correspondiente comunicación. Posteriormente, el acceso a la red se divide en dos módulos, la Estación Base y el Control. Finalmente, se tiene el Core Network donde se encuentran los switches, routes, bases de datos y servidores.

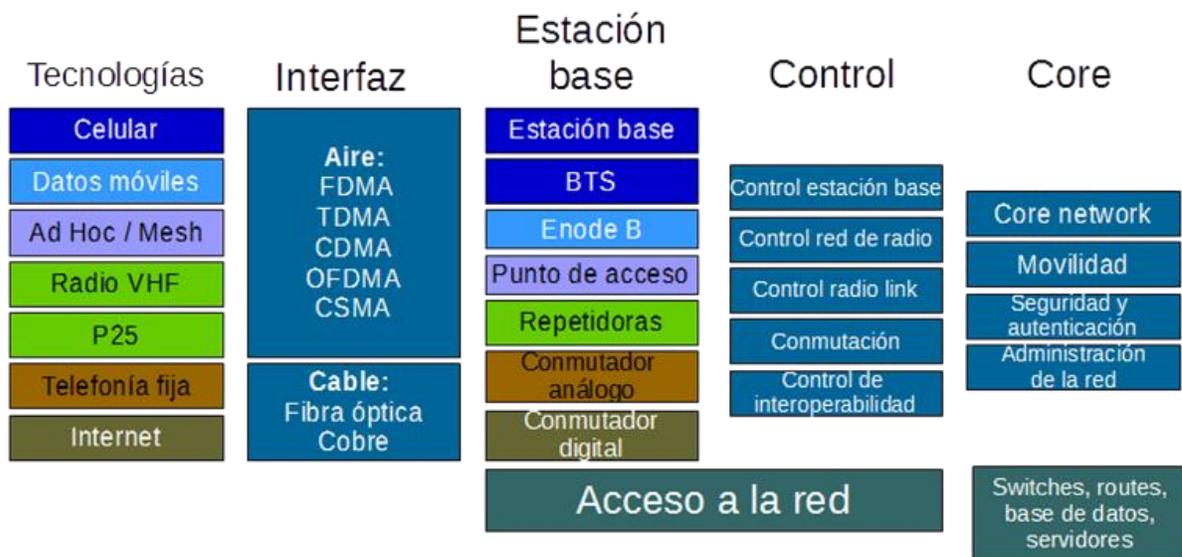


Figura 23. Arquitectura de red integrada para telecomunicaciones de emergencia entre Autoridades

La arquitectura híbrida permitirá agrupar las principales tecnologías de telecomunicaciones que hoy por hoy son usadas en las comunicaciones de emergencia de las Autoridades en Cundinamarca. Dado que las telecomunicaciones basadas en redes celulares tienden a colapsar en eventos de crisis, se incorporan por tanto, las tecnologías Ad Hoc / Mesh y P-25 para dar soporte adicional y amparar la integración de las comunicaciones entre Autoridades respectivamente.

La interfaz, describe el acceso al medio de cada tecnología a través de una modulación de la señal inalámbrica o un elemento físico como la fibra óptica o el cobre. La estación base recibe y transmite los mensajes, la señalización de la interfaz aire para comunicar con la etapa de control que gestiona el acceso a la red mediante la administración de recursos, políticas de seguridad, control de la estación base, requerimientos de interoperabilidad y conmutación de los servicios de la red [20]. El Core Network se compone del sistema necesarios para soportar la gestión de los servicios, control de fallas, rendimiento y monitoreo de la red.

5.3 Diseño de la Red de Telecomunicaciones de Emergencia Autoridad-Autoridad para Cundinamarca

La red de emergencia Autoridad-Autoridad propuesta que se aprecia en la Figura 24 está basada en una arquitectura híbrida, tomando como base la tecnología P-25, identificada en la relación de tecnologías de éxito internacional y el diagnóstico de la red de emergencias de Cundinamarca resumidos en la Tabla 17 y, además, abarcando las necesidades que se requieren suplir en los requisitos operativos de las comunicaciones de las emergencias, descritos en la Tabla 14

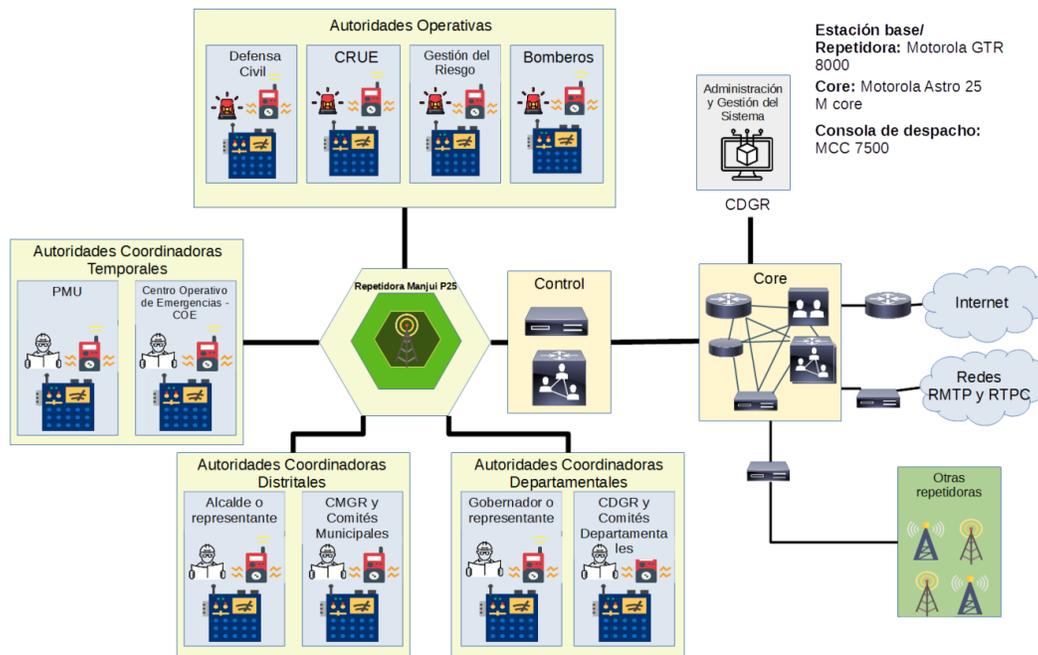


Figura 24. Diseño comunicaciones de emergencias Autoridad-Autoridad para Cundinamarca

El diseño modular se compone por las Autoridades encargadas de coordinar las operaciones y tácticas de atención de emergencias y desastres, se dividen en dos grupos:

- El primer grupo son las autoridades coordinadoras compuesta por entidades distritales, departamentales y temporales como los PMU y COE que se crean en el sitio del desastre. Son las encargadas de analizar y tomar decisiones para la administración de la emergencia, generar la alerta correspondiente y solicitar el apoyo necesario para atender y solucionar los eventos generados por la emergencia, también gestionan proyectos de reducción y conocimiento de riesgos y desastres [57].
- El segundo grupo son las Autoridades operativas compuesta por entidades de rescate y recuperación en sitios de desastre. Son los encargados de los procedimientos necesarios para atender de manera adecuada las situaciones de emergencias y desastres [57].

La repetidora de tecnología P-25 se ubicaría el cerro Manjui, donde también se encuentra la repetidora de Gestión del Riesgo. Esta repetidora daría cobertura a la ciudad de Bogotá y el occidente de Cundinamarca (ver

Anexo 6: Cobertura de), de esta forma se suple la cobertura suficiente con una sola repetidora P-25 sobre las Autoridades correspondientes para la coordinación de misiones en estados de emergencia ubicadas principalmente en el distrito (ver Anexo 5: Ubicación Física de las Principales Autoridades). Las repetidoras restantes quedarían como soporte de comunicación a las entidades operacionales fuera del área de cobertura de Manjui. El diseño híbrido permite que las redes Mesh y Ad Hoc cumplan la función de aportar una etapa complementaria en las comunicaciones para ampliar la gama de servicios como la transmisión de video, mapas y acceso a bases de datos. Siempre que una Autoridad requiera movilizarse fuera de las coberturas de comunicación (ver Anexo 6: Cobertura de las Repetidoras de las Principales Autoridades de Cundinamarca), se propone el uso de un repetidor portátil P-25 PDR 8000 (ver Figura 25) para una cobertura de radio P-25 portátil en sitio local. Las principales características de usar un repetidor portátil son las siguientes [58]:



Figura 25. Repetidor portátil P-25 PDR 8000 [58]

Las principales características de usar un repetidor portátil son las siguientes [58]:

- Implementación rápida.
- Estructura con peso de 12,5 Kg.

- Compatibilidad con interfaces Bluetooth, Wifi y Ethernet.
- Alimentación de 13V DC y 120 AC.

La integración de las tecnologías de comunicación en una sola red, la realiza en el Core mediante sus características de interoperabilidad, las redes RMTP (Red Móvil Terrestre Pública) y RTPC tienen conexión directa al Core Network, que además de conexión a internet mediante Ethernet y recepción de comunicaciones desde las otras repetidoras administra las llamadas y mensajes con la consola de despacho, de esta forma permite crear un sistema de comunicaciones híbrido para soportar las comunicaciones de emergencia.

Los elementos tecnológicos propuestos que componen el diseño de la red son el Core Network P-25, la estación base, la repetidora y la consola de despacho.

5.3.1 Core network P-25

El Core ASTRO 25 M, escalable y virtualizado, es el P-25 de mayor flexibilidad, que puede administrar datos convencionales, troncalizados, datos integrados, datos mejorados, sitio SmartX para facilitar la interoperabilidad de tecnologías y High Performance Data que otorga características de velocidad de conexión y uso eficiente del espectro [55] en una sola configuración (ver Figura 26). Integra múltiples tipos de redes; desde redes de un solo canal hasta aquellas con cientos de canales [59] y se ajusta a redes actuales, redes IP como las Mesh y las Ad Hoc y son compatibles con los radios, consolas y equipos de sitio como los que usan Autoridades. Esto deriva en una red híbrida capaz de agregar funcionalidad en el momento y en el lugar en que se necesita. Puede irse incorporando nuevos radios, consolas, sitios o aplicaciones de datos a medida que se necesitan. Esta actualización tecnológica gradual no solo se adapta para presupuestos limitados, sino que también permite a los distintos departamentos implementar gradualmente funcionalidades y capacitación para los usuarios [59].

ASTRO 25 es tecnología para comunicaciones críticas. Es una plataforma basada en el estándar P-25 que suple las necesidades inalámbricas de voz y datos, analógico y digital, convencional y troncal para afrontar los desafíos de seguridad pública, con características de seguridad, robustez y confiabilidad [59].

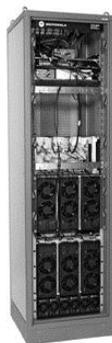


Figura 26. Core Astro 25 [59]

El Core ASTRO 25 M ofrece una plataforma de interoperabilidad de pulsar para hablar (PTT) destinada a mejorar y optimizar las comunicaciones del grupo de trabajo llamada Wave. Conectar las diferentes redes tales como radios, celulares, wifi y telefonía, entre otras, para posibilitar la comunicación entre ellas. Ya sea con un Smartphone, radio, teléfono fijo o cualquier otro dispositivo de comunicación, los usuarios pueden conectarse instantáneamente y de manera segura a través de PTT [60].

5.3.2 Estación base/repetidor

El equipo de radio de estación base GTR 8000 (ver Figura 27), configurable por software, configuración para admitir simultáneamente comunicación digital y analógico, provee una solución P-25 troncalizada de fácil instalación y alta disponibilidad. Todos los radios de estación base, equipo de redes, distribución de tiempo y frecuencia, combinación de RF y equipo conector múltiple vienen integrados desde fabrica en un solo gabinete o bastidor y con selección de funcionamiento como estación base o repetidor [61].



Figura 27. Estación base GTR 8000 [61]

5.3.3 Consola de despacho MCC 7500E IP

Realiza la administración y gestión del sistema, integra las soluciones de comando y control brindando interoperabilidad, ahorro de costos y ventajas de seguridad para las comunicaciones de misión crítica. Las consolas se conectan directamente a las redes IP sin cuadros de interfaz, pasarelas de voz digital o electrónica interna. La red IP admite toda actividad de la consola, incluso audio convencional y troncalizado, entradas/salidas auxiliares y administración de fallas/configuración (ver Figura 28). Admite las siguientes funciones [62]:

- Encriptación segura de extremo a extremo del tráfico cursado entre operadores y usuarios.
- Conectividad directa entre la red y la consola.
- Interfaz gráfica de usuario.
- Voz.
- Mensaje de texto individual y grupos.
- Interconexión entre usuarios telefónicos y radio en un mismo grupo.
- Seguimiento por GPS.



Figura 28. Consola despacho MCC 7500E [62]

5.4 Prueba Piloto con el Diseño de la Red de Telecomunicaciones de Emergencia

La prueba piloto se planteó para ser desarrollada idealmente con equipos de tecnología P-25, los cuales tienen las características adecuadas para soportar la integración de las comunicaciones Autoridad-Autoridad en un estado de desastre (ver sección 3.2 y Tabla 7). Dado que en el diagnóstico se pudo establecer que las Autoridades coordinadoras no disponen de esta tecnología y tampoco tienen la capacidad de adoptarla en un corto plazo, debido a que su implementación requeriría de una gran inversión, por esta razón, y siguiendo el paradigma de las redes híbridas, el diseño de la red de emergencias y desastres se planteó para soportar el uso de la tecnología disponible actualmente por las Autoridades de Cundinamarca.

5.4.1 Planeación y programación de la prueba piloto

La prueba piloto se planeó con la asesoría y el acompañamiento de la UEGRD y el CRUE de Cundinamarca. Se propuso un escenario que fue realimentado por cada una de las instituciones que fueron invitadas a participar, el guion fue validado por personal experto en atención de emergencias de las dos entidades, además, se desarrollaron protocolos (ver Anexo 7: Protocolos y Formato de Resultados para la Prueba Piloto) de apoyo para garantizar el uso organizado de los equipos tecnológicos y la interoperabilidad entre las Autoridades. Finalmente se realizó una presentación preparatoria a las entidades participantes, el día 18 de marzo del 2019. En la reunión se presentó un resumen del trabajo de grado y la propuesta de la prueba piloto, también se entregó una carpeta con la información sobre la simulación: descripción del escenario, rol de las entidades, el guion y los protocolos.

La red propuesta para realizar la simulación (véase Figura 29) se compone de un sitio de coordinación y gestión de la red, administrado por el CDGR y centralizado en las instalaciones del CRUE de Cundinamarca. Este sitio fue dedicado a la gestión técnica de la red y el seguimiento al estado operativo de sus elementos que, además, se encargaron de recibir los comunicados de las Autoridades y tomar las decisiones tácticas y de operación pertinentes.

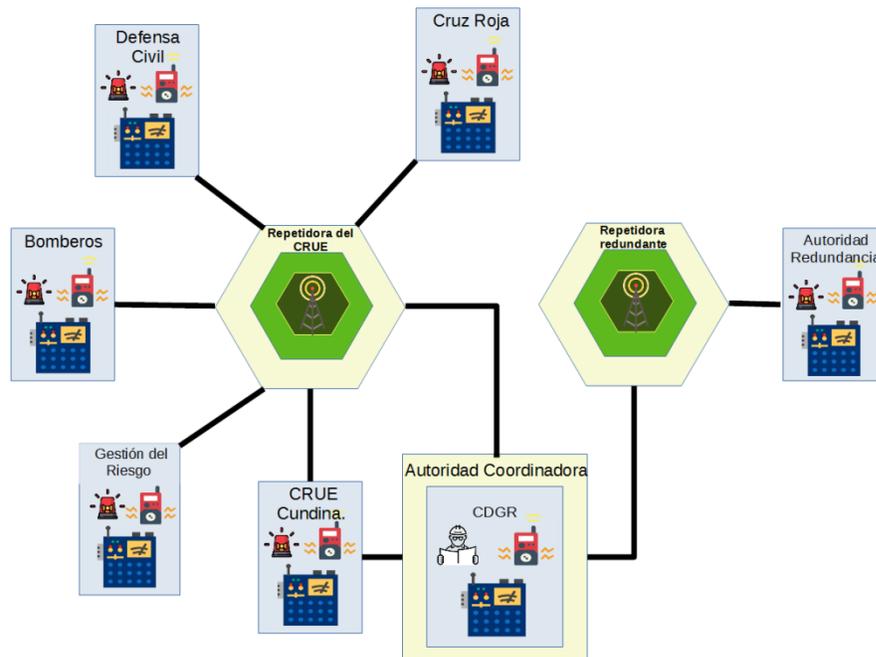


Figura 29. Diseño de la red de emergencia y desastres de la prueba piloto

La configuración de la red propuesta permitió evaluar la disponibilidad, redundancia y tiempos de respuesta oportuna bajo una simulación de un escenario de un estado de desastre detallado en la Sección 3 del Anexo 8: . La red de emergencia aseguró un tiempo de disponibilidad y un funcionamiento continuo bajo las diferentes circunstancias de la simulación.

Los elementos que se consideraron para el desarrollo de la prueba piloto fueron la identificación, configuración y adecuación de los equipos que se usaron en la simulación, tales como; radios móviles, repetidoras, radios portátiles y elementos técnicos de apoyo que en el caso de la asignación del fallo simulado, ayudaban a mantener la disponibilidad del servicio. Por lo tanto, se generó la oportunidad para que las diferentes entidades que intervienen en la atención de una emergencia o desastre pudieran interoperar entre sí, y se logró, además, una integración en una sola red a través de una nueva configuración de las comunicaciones existentes.

La configuración y adecuación de las repetidoras, la implementación de protocolos y realimentación del guion, permitió realizar pruebas de respuesta oportuna, disponibilidad y

redundancia de Autoridades bajo un escenario de un estado de desastre detallado en la sección 3.2 del Anexo 8: . El diseño de la red adaptado aseguró un tiempo de disponibilidad y un funcionamiento continuo bajo las diferentes circunstancias de la emergencia. La red se restableció ante las fallas simuladas donde se aplicaron varios niveles de redundancia por parte de las Autoridades. Los equipos de radio contaron con interconexión entre estaciones bases, dispositivos de respaldo y sitios alternos en caso de fallo del sitio primario.

5.4.2 Ejecución de la prueba piloto

La simulación se desarrolló en ocho eventos de acuerdo al guion de la sección 3.2 del Anexo 8: . Cada evento definía pautas específicas para cada una de las Autoridades. El 20 de marzo del 2019, a las 10:00 am, inició la simulación con la alerta y declaración del estado de desastre, cada Autoridad ejecutó los protocolos y realizó el enlace correspondiente a las frecuencias dedicadas a la interoperabilidad. Se transmitieron los mensajes correspondientes de cada evento, tanto por la entidad coordinadora como por las entidades de respuesta. Uno de los eventos de mayor relevancia (Evento 4) fue la evaluación de redundancia de la infraestructura de comunicaciones, que en este caso apoyados por los protocolos y la infografía de la Figura 5 del Anexo 8: , las Autoridades dieron una respuesta positiva a la falla simulada de la repetidora aplicando una redundancia con la repetidora Neusa y de esta forma mantener la disponibilidad de la red. El segundo evento crítico (Evento 5) fue la selección aleatoria de dos Autoridades, extrayendo de una urna dos fallas que afectaron la disponibilidad inmediata de las comunicaciones de las entidades, y así, afectando significativamente el escenario final.

Concluida la simulación, se realizó una reunión con las entidades participantes y los invitados, entre los que se encontraban representantes de la UNGR, Subdivisión de Conocimiento del Riesgo y el MinTic. Cada representante compartió un informe de la experiencia y los resultados visibilizados durante la actividad.

En la Sección 4 del Anexo 8: se pudo detallar con mayor profundidad la ejecución de la simulación. En la Figura 30 se resume el proceso de ejecución de la simulación:

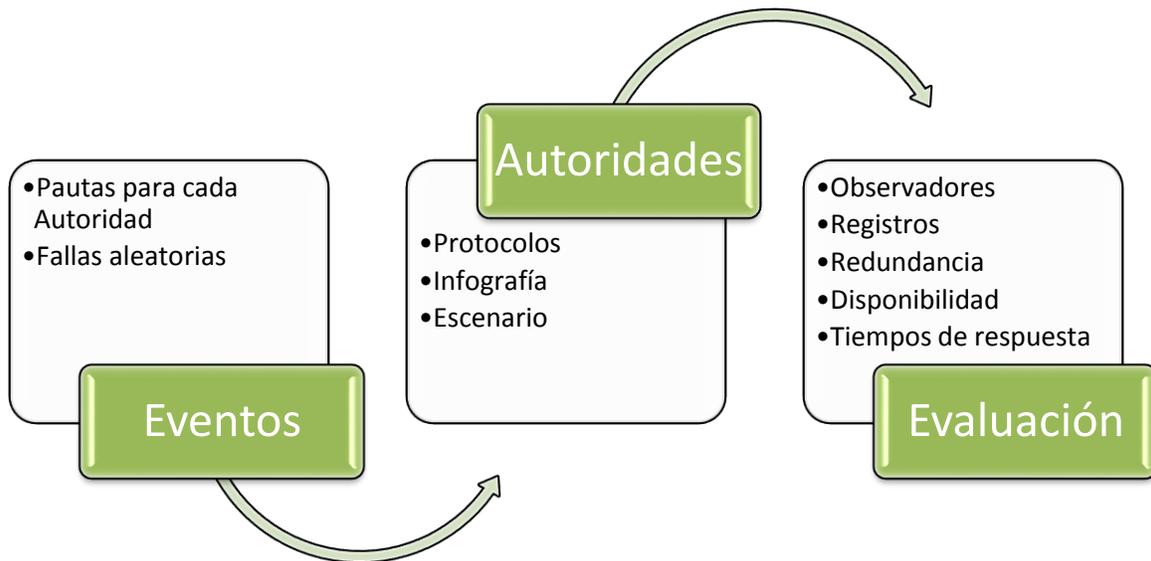


Figura 30. Proceso desarrollo de la simulación

5.4.3 Análisis y resultados de la simulación

Terminada la simulación se realizó una reunión con los representantes de las Autoridades que participaron en la prueba piloto, se recolectaron y evaluaron los elementos de realimentación tanto técnicos como institucionales, tales que enriquecieron y promovieron la simulación como una actividad obligatoria para las Autoridades de coordinación y atención de emergencias. La simulación se evaluó bajo los siguientes criterios:

- Establecimiento efectivo de comunicación entre Autoridades: Medir el tiempo que dura una autoridad en establecer la comunicación y/o enviar un mensaje entre el personal de la misma Autoridad. Registrar el tiempo de los diferentes eventos del guion y cada una de las respuestas.
- Redundancia: Medir la cantidad de intentos o saltos que se necesitan para enviar un mensaje cuando cae o se apaga una repetidora VHF principal. Qué tecnologías o elementos usan para reponerse de una falla de los equipos de radio.
- Interoperabilidad: Capacidad de las instituciones para aplicar los protocolos y su conocimiento para intercambiar mensajes a través de la red de forma homogénea.

- Disponibilidad: Medir el tiempo que dura sin servicio de comunicación las Autoridades después de iniciar la emergencia, verificar el uso de tecnología de apoyo o respaldo.

La prueba piloto aportó valiosa información respecto al cumplimiento de los protocolos y su efecto en la disponibilidad de las comunicaciones de cada Autoridad durante la simulación, la cual está consolidada en la Tabla 18.

Tabla 18. Relación de uso de los protocolos implementados en la simulación

Evaluación de los Protocolos Implementados en la Simulación					
Protocolo	% de Cumplimiento de los Protocolos por Parte de las Autoridades				
	Gestión del riesgo	Cruz Roja	CRUE	Defensa Civil	Promedio general del protocolo
Protocolo uso de la red de comunicaciones del CRUE	100%	100%	85,70%	100%	96,42%
Protocolo simulación	71%	100%	42,85%	100%	78,46%
Protocolo de las comunicaciones	80%	75%	25%	100%	70%
USO TOTAL DE LOS PROTOCOLOS	83,7%	91,66%	51,18%	100%	81,63%

El primer protocolo evaluado fue el “Protocolo uso de la red de comunicaciones del CRUE” con un cumplimiento general del 96,4% por parte de las Autoridades, que reflejó el correcto funcionamiento de la interoperabilidad y la coordinación de los eventos de la simulación. El “Protocolo de simulación” permitió verificar los elementos técnicos, los procedimientos y logística previos al desarrollo de la simulación, con un cumplimiento de un 78,4%, en el cual se identificaron falencias comunes en el CRUE y Gestión del Riesgo como la falta de preparación de insumos técnicos. Con un 88,75% las Autoridades cumplieron con el “Protocolo de las comunicaciones” que permitió verificar y preparar el estado de los elementos de apoyo de los equipos de radio usados en la simulación, el cumplimiento del 25% de este protocolo generó una condición crítica al CRUE por no

haber preparado herramientas de apoyo al momento de simular una falla. En síntesis, la Autoridad que preparó y empleó con mayor eficacia los protocolos fue la Defensa Civil con un 100%, si bien, el CRUE realizó un 51,18% los protocolos, los retos de mejora identificados son transversales para todas las Autoridades.

En la Tabla 19 se aprecia como un conocimiento previo de los protocolos aumenta el tiempo de disponibilidad de las comunicaciones y una preparación para fallos inesperados en los equipos. La disponibilidad se analizó retirando el tiempo que estuvo desconectada cada Autoridad en el período de la simulación. La Defensa Civil reportó un conocimiento completo de los protocolos, aunque su disponibilidad fue menor que Gestión del Riesgo y la Cruz Roja, se acepta que por motivos de la desconexión por el fallo aleatorio su diferencia en tiempo es tan solo de 105 segundos en contraste de los 300 segundos de desconexión del CRUE.

Tabla 19. Resultados de parámetros técnicos y administrativos

Parámetro Técnico	Gestión del Riesgo	Cruz Roja	CRUE	Defensa Civil
Disponibilidad en la red	98,70%	99,34%	79,40%	91,70%
Uso de redundancia	SI	SI	SI	SI
Tiempo de establecimiento de la comunicación	<1seg	<1seg	<1seg	<1seg

Todas las Autoridades hicieron uso de por lo menos un tipo de redundancia en el transcurso de la simulación. El tiempo de establecimiento de la comunicación entre Autoridades, relacionada con la latencia, no se vio afectada debido a que las capacidades de enlace de la repetidora VHF deben ser mayores a 1000 usuarios para apreciar algún retardo.

El tiempo estimado para el desarrollo de cada evento del guion versus el tiempo empleado en la simulación varía dependiendo de varios aspectos: Se aumenta el tiempo empleado debido a la cantidad de información adicional generada por cada Autoridad, el tiempo es menor cuando hay una precisión en los datos de los informes y un uso riguroso del guion (ver Tabla 20). Se tenía planeado usar el registro de tiempo de los enlaces de las repetidoras que se muestra en la central de monitoreo del CRUE, pero al momento de

realizar la visualización se descubrió que no se registró parte del tiempo de la simulación como se observa en el Anexo 9: Datos Registrados por la Consola de Monitoreo de Comunicaciones del CRUE Durante la Prueba Piloto, por esta razón, se realizaron otros análisis basados en el registro manual de la simulación.

Tabla 20. Contraste del tiempo estimado y empleado en las comunicaciones de la prueba piloto

Evento	Tiempo estimado (minutos)	Tiempo promedio empleado (minutos)	Diferencia entre tiempo estimado y empleado (minutos)	Observación
Evento 1	01:00	02:00	+01:00 adicional	Cada Autoridad realizó el reporte de disponibilidad con más detalle que lo estipulado en el guion
Evento 2	02:30	03:00	-00:30 menos	Transmisión más eficiente del mensaje proporcionado en el guion
Evento 3	02:00	02:00	00:00	Se cumplió con lo estipulado en el guion
Evento 4	01:00	01:00	00:00	Se cumplió con lo estipulado en el guion
Evento 5	05:00	02:00	-03:00 menos	Solo la Defensa Civil logró resolver la falla en la ventana de tiempo asignada
Evento 6	00:20	00:30	+00:10 adicional	Reporte mucho más detallado de lo estipulado en el guion
Evento 7	02:00	03:00	+01:00 adicional	Cada Autoridad realizó el reporte de acciones con más detalle que lo estipulado en el guion
Evento 8	NA	NA	NA	

Conclusiones y Recomendaciones

- La construcción del marco teórico, el análisis de las tecnologías y arquitecturas de éxito internacional de las comunicaciones de emergencia, permitieron hallar las principales características a considerar en el desarrollo del diseño de la red de comunicaciones Autoridad-Autoridad para el Departamento de Cundinamarca.
- La caracterización y diagnóstico de la infraestructura de las principales Autoridades de respuesta, atención y coordinación de emergencias y desastres, fue fundamental para determinar y delimitar los requerimientos técnicos, operaciones y administrativos para el diseño de la red de comunicaciones Autoridad-Autoridad y la planeación de la prueba piloto.
- El diagnóstico de las comunicaciones de emergencia Autoridad-Autoridad de las instituciones de atención y coordinación de emergencias y desastres de Cundinamarca, visibilizó a los directivos y representantes de las Autoridades administrativas de Gestión del Riesgo, el estado real de la infraestructura de comunicaciones y la importancia de las instituciones de la RNTE puedan realizar una interoperabilidad para optimizar los tiempos de coordinación de emergencias y desastres.
- Las frecuencias para realizar las simulaciones de cobertura, se usaron las asignadas en la Resolución 1201 del 2004, debido que las frecuencias reales hacen parte de la información reservada de cada una de las Autoridades.
- Se consolidó un diseño de una red de comunicaciones integrada, interoperativa, y escalable, basado en los insumos proporcionados en el marco teórico y el diagnóstico de las Autoridades pertenecientes al CDGRD de Cundinamarca, que integra y soporta las comunicaciones Autoridad-Autoridad para estados de emergencia y desastre.
- El diseño de la red con características híbridas permite abarcar nuevas tendencias tecnológicas para la comunicación entre Autoridades empleando la tecnología del protocolo P-25. La integración de las comunicaciones en una misma red. Optimiza la gestión de las instituciones de atención y coordinación de emergencias. Es importante destacar que lo anterior va de la mano con una adecuada gestión y administración institucional para llegar a implementar poco a poco esta solución.

- La prueba piloto permitió evaluar los parámetros de disponibilidad, redundancia y tiempos de respuesta del diseño de la red adaptado a la tecnología disponible por las Autoridades, lo anterior bajo una simulación de un estado de desastre en Cundinamarca. Adicional, los protocolos creados, quedaron a disposición de las Autoridades para ser implementados y mejorados en próximas simulaciones de mayor complejidad. El parámetro de robustez planteado en el objetivo específico no pudo ser evaluado adecuadamente debido al difícil y limitado acceso a la información y la infraestructura de comunicaciones de las instituciones públicas de Cundinamarca.
- La prueba piloto permitió evaluar los parámetros críticos de las comunicaciones en un estado de desastre de las principales Autoridades de Cundinamarca. Se identificó una disponibilidad promedio general del 92,28% de las Autoridades, se proporcionó un conocimiento en la preparación y mejora de redundancia de todas las entidades participantes y se optimizaron los tiempos de respuesta en la integración de las Autoridades con en el diseño de red adaptado. De este modo, se puede concluir que el uso de los protocolos permitió mejorar la interoperabilidad de las Autoridades en el diseño de la red propuesta, además, se disminuyó el tiempo implementado para la atención y coordinación de un desastre en Cundinamarca.
- Quedan abiertas las puertas con la UEGRD de Cundinamarca para dar continuidad con nuevas líneas de trabajo como son las comunicaciones Autoridad-Individuo, Individuo-Autoridad e Individuo-Individuo. Las comunicaciones de emergencia se encuentran abarcando nuevas tecnologías insipientes como el internet de las cosas, Big Data y aplicaciones en 5G.
- Se recomienda dar continuidad con el convenio interinstitucional Estado-Universidad para fomentar proyectos de grado con un valioso aporte a entidades que se comprometen por la vida humana como son las Autoridades de atención de emergencias y desastres. Además, se sugirió a UEGRD de Cundinamarca aceptar las recomendaciones, análisis y resultados de la prueba piloto como elemento de propuesta de mejora para la delicada situación de infraestructura de las comunicaciones de Cundinamarca.

- Se recomienda a las instituciones coordinadoras de la RNTE documentar y preparar a los encargados de los radios en la identificación y uso de herramientas de redundancia para mantener la mayor disponibilidad de las comunicaciones en caso de un desastre. Los protocolos son una herramienta fundamental que debe ser implementada y mejorada continuamente en cada una de las instituciones de atención y coordinación de emergencias.
- Se recomienda que en simulaciones de mayor alcance se integren otras Autoridades, tales como: UNGRD, CRUE de Bogotá, Bomberos de Cundinamarca y Bogotá, Socorro Nacional, Policía Nacional, Ejercito Nacional, representantes de Alcaldía y Gobernación.
- La experiencia de generar un espacio de interacción de diversas Autoridades en un escenario común. Permitió promover nuestras estrategias interinstitucionales que permitirán articular esfuerzos y recursos en un escenario de desastre real para mejorar la efectividad de la coordinación y atención más eficaz a las comunidades afectadas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC), «Regulación para promover el desarrollo e implementación del sistema nacional de telecomunicaciones de emergencia en Colombia», CRC, 2016.
- [2] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - Colombia (UNGRD), *Plan estratégico de cooperación internacional gestión del riesgo de desastres 2015-2018*. Ministerio de Relaciones Exteriores, 2015.
- [3] Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicación, «Fortalecimiento de las TIC para emergencias», Bogotá, 2012.
- [4] L. Bass, P. Clements, y R. Kazman, *Software Architecture in Practice*, 3 edition. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley Professional, 2012.
- [5] A. G. Fragkiadakis, I. G. Askoxylakis, E. Z. Tragos, y C. V. Verikoukis, «Ubiquitous robust communications for emergency response using multi-operator heterogeneous networks», *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2011, p. 13, jun. 2011.
- [6] M. Nieves Soberón del Barrio, «Análisis de arquitecturas y tecnologías de comunicaciones de sistemas de mando y control para gestión de emergencias», Universidad Politécnica de Valencia, 2013.
- [7] J. B. Hamilton y P. S. Anderson, «Satellite communications in disaster management: selected Canadian systems», *Space Commun.*, vol. 18, n.º 3/4, p. 187, sep. 2002.
- [8] F. Wei, M. Haque, X. Lu, y K. Mori, «Autonomous community construction and coordination technology to achieve real-time transmission in multiple emergencies' situation», *Telecommun. Syst.*, vol. 54, n.º 1, pp. 61-78, sep. 2013.
- [9] E. E. Gaona García, M. A. Ávila Angulo, y E. G. Muskus, «Aproximación De La Calidad De Voz Y Cobertura En Una Red Gsm De Emergencia», *Cienc. E Ing. Neogranadina*, vol. 24, n.º 2, pp. 23–36, dic. 2014.
- [10] Monish Gulati, «Citizen-Centric Telecommunications Services During Emergencies», *ICFAI J. Infrastruct.*, vol. 6, n.º 1, pp. 40-58, mar. 2008.
- [11] R. Purohit, H. S. Choudhary, y V. Choudhary, «Performance Evaluation of Ad Hoc Network Routing Protocols with NS2», *Int. J. Comput. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, n.º 1, pp. 787-791, ene. 2012.
- [12] E. Panaousis, C. Politis, K. Birkos, C. Papageorgiou, y T. Dagiuklas, «Security model for emergency real-time communications in autonomous networks», *Inf. Syst. Front.*, vol. 14, n.º 3, pp. 541-553, jul. 2012.
- [13] D. Jackson, «Survivable Communications: Much more than hardened radios», *Mob. Radio Technol.*, vol. 23, n.º 11, pp. 40-45, nov. 2005.
- [14] Zeng Li, «Multi-Station with One Frequency Fire Emergency Network Based On TDD-OFDM», *Appl. Mech. Mater.*, n.º 644-650, pp. 4559-4562, sep. 2014.
- [15] Banco Mundial Región de América Latina y el Caribe, «Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia, un aporte para la construcción de políticas públicas», Banco Mundial, Washintong, 2012.
- [16] Congreso de Colombia, *Ley 1523 de 2012*. 2012.
- [17] M. Pereira, L. Gaggero, y A. Drabenche, «Comunicaciones inalámbricas en zonas de desastre inundaciones». 2010.
- [18] D. Solano Cortada y J. Carretero Alfaro, «Gestión de la innovación en la prestación de servicios e infraestructuras de comunicación para seguridad pública y

- emergencias», *Public safety innovation management for the provision of services and communication infrastructures*, sep. 2013.
- [19] Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicación, «Ministerio TIC creó el Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias - Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones», 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-14372.html>. [Accedido: 20-mar-2018].
- [20] Fontic y Consorcio Itelca - STI, «Diseño de la Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencias - RNTE», Bogotá, 2013.
- [21] Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT, «Y.2205: Redes de próxima generación - telecomunicaciones de emergencia - Consideraciones técnicas», UIT, Ginebra, 2011.
- [22] Presidencia de la República de Colombia, *Decreto 2434 de 2015*. 2015.
- [23] UIT, «Telecomunicaciones de Emergencia». [En línea]. Disponible en: <http://www.itu.int:80/es/action/emergency/Pages/default.aspx>. [Accedido: 05-may-2018].
- [24] Fontic y Consorcio Itelca - STI, «Análisis técnico, normativo, financiero para la propuesta de un marco normativo para el fortalecimiento del sistema nacional de telecomunicaciones de emergencia - SNTE», Bogotá, 2013.
- [25] Comisión Interamericana de Telecomunicaciones - CITEL, «CCP.II/REC.49 Rev. 1 (XXVIII-16) - Protección pública y socorro en caso de catástrofe (PPDR) basado en sistemas telecomunicaciones móviles internacionales (IMT)», CITEL, Bávaro, República Dominicana.
- [26] Congreso de Colombia, *Ley 1341 de 2009*. 2009.
- [27] Presidencia de la República de Colombia, *Decreto 308 de 2016*. 2016.
- [28] L. Lara, «5G/IMT-2020 & PPDR Construyendo el futuro», presentado en Seminario regional de radiocomunicaciones de la UIT, Lima, Perú, 11-sep-2018.
- [29] Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT, «Recomendación M.2083: Concepción de las IMT - Marco y objetivos generales del futuro desarrollo de las IMT para 2020 y en adelante», UIT, Ginebra, 2015.
- [30] A. Ometov, E. Sopin, I. Gudkova, S. Andreev, Y. V. Gaidamaka, y Y. Koucheryavy, «Modeling unreliable operation of mmWave-Based data sessions in mission-critical PPDR services», *Espec. Sect. Mission Crit. Public-Saf. Commun. Archit. Enabling Technol. Future Appl.*, vol. 5, 2017.
- [31] R. Ferrús *et al.*, «Security in Transnational Interoperable PPDR Communications: Threats, Requirements and Architecture Solution», *Int. J. Distrib. Syst. Technol. IJDST*, vol. 7, n.º 4, pp. 41-60, oct. 2016.
- [32] R. Arroyo de la Rosa, *Fuerte y claro: El enlace en las emergencias*, vol. 1. Madrid, España: Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2014.
- [33] M. J. Muñoz, «TETRA: El mejor sistema de comunicaciones para servicios de emergencia y seguridad ciudadana», *Nuevas Tecnologías Aplicadas a la Seguridad*, 07-may-2004. [En línea]. Disponible en: http://www.belt.es/expertos/HOME2_experto.asp?id=1990. [Accedido: 27-oct-2017].
- [34] «Revista Emergencias», *La transición en Europa de los Sistemas de radiocomunicaciones móviles analógicos a los digitales TETRA, TETRAPOL y DMR*, 02-jul-2011.
- [35] H. Z. Ceballos, A. López, y J. A. Nuñez, «Metodología para el diseño de redes de comunicaciones de emergencia», *Rev. Colomb. Tecnol. Av. RCTA*, vol. 2, n.º 24, may 2017.

- [36] G. Fodor, S. Parkvall, S. Sorrentino, P. Wallentin, Q. Lu, y N. Brahmí, «Device-to-device communications for national security and public safety», *IEEE Access*, vol. 2, pp. 1510-1520, 2014.
- [37] I. D. Telecomunicación, A. D. Reguero, A. Alex, R. D. Reguero, T. Bazil, y T. Ahmed, «Comunicaciones wimax y UMTS basadas en HAPS (High Altitude Platforms)», Universidad Autónoma de Madrid, España, 2013.
- [38] TAO Group, «El Grupo TAO - Trans Atmospheric Operations», 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.tao-group.de/es_katastrophenhilfe.html. [Accedido: 02-oct-2018].
- [39] «Tetrapol networks: Some European profiles from the national research-based TETRA Airwave safety campaign», *TetraWatch*. [En línea]. Disponible en: <http://www.tetrawatch.net/national/tetrapolprofiles.php>. [Accedido: 04-jun-2018].
- [40] Ministerio del Interior Secretaria de Estado Programa SIRDEE, «SIRDEE “La solución española”», mayo-2007.
- [41] Federal Communications Commission (FCC), «Emergency Communications», 06-feb-2014. [En línea]. Disponible en: <https://www.fcc.gov/general/emergency-communications>. [Accedido: 20-mar-2018].
- [42] L. Phillips-Morris, «First on the line», *Am. City Cty.*, vol. 124, n.º 3, pp. 36-40, mar. 2009.
- [43] U.S. Department of Homeland Security, «SHARES FAQ», *Department of Homeland Security*, 20-jun-2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.dhs.gov/shares-faq>. [Accedido: 10-jun-2018].
- [44] Corporación Ciudadana Red Nacional de Emergencia, «Quiénes Somos», 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.reddeemergencia.cl/quienes-somos/>. [Accedido: 07-nov-2017].
- [45] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), «Objetivos y funciones UNGRD», *Objetivos y Funciones de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres*, 2016. [En línea]. Disponible en: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Objetivos.aspx>. [Accedido: 16-ene-2019].
- [46] Fondo de Vigilancia de Seguridad de Bogotá, «Puesto de comando ó puesto de mando unificado», *Puesto de comando ó puesto de mando unificado*. [En línea]. Disponible en: <http://www.fvs.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/puesto-comando-%C3%B3-puesto-mando-unificado>. [Accedido: 16-jul-2018].
- [47] Ministerio de Tecnologías de la Información y la Comunicación, *Resolución 449 del 2013*.
- [48] Secretaría de Salud de Bogotá, «Centro Regulador de Urgencias y Emergencias - CRUE», *Centro Regulador de Urgencias y Emergencias - CRUE*, 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.saludcapital.gov.co/DCRUE/Paginas/Informacion_Crue.aspx. [Accedido: 20-nov-2018].
- [49] European Telecommunications Standards Institute, «TR 102 022-1: User requirement specification; mission critical broadband communication requirements», ETSI, 2012.
- [50] Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT, «Recomendación E.107 : Servicio de telecomunicaciones de emergencia (ETS) y marco de interconexión para implementaciones nacionales del ETS», UIT, Recomendación, 2007.

- [51] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), «Protocolo red nacional de telecomunicaciones de emergencias del sistema nacional para la gestión del riesgo de desastres», UNGRD, nov. 2013.
- [52] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - Colombia (UNGRD), «Guía metodológica para la elaboración de la estrategia de respuesta municipal “Preparación para el manejo de emergencias y desastres”», UNGRD, Bogotá, 2013.
- [53] Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), «Protocolo nacional de respuesta ante “segunda temporada de lluvias 2013” septiembre a noviembre», Bogotá, 2013.
- [54] Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT, «Recomendación Y.1271 : Requisitos y capacidades de red generales necesarios para soportar telecomunicaciones de emergencia en redes evolutivas con conmutación de circuitos y conmutación de paquetes», UIT.
- [55] Motorola®, «Sistemas proyecto 25 bien dimensionados y preparados para el futuro, soluciones escalables Motorola® Astro 25», 2017.
- [56] Unión Internacional de Telecomunicaciones - UIT, «Recomendación M.2015 : Disposición de frecuencias para sistemas de radiocomunicaciones de protección pública y operaciones de socorro en caso de catástrofe con arreglo a la Resolución 646 (Rev.CMR-15)», UIT, Recomendación, 2018.
- [57] Fondo de Prevención y Atención de emergencias - FOPAE, «Guía para elaborar planes institucionales de respuesta a emergencias - PIRE», FOPAE, Bogotá, dic. 2013.
- [58] Motorola®, «Repetidor digital portátil PDR8000», Motorola®, 2017.
- [59] Motorola®, «Astro® 25 core», Motorola®.
- [60] «COMUNICACIONES WAVE - Motorola Solutions». [En línea]. Disponible en: https://www.motorolasolutions.com/es_xl/productos/voice-applications/wave-work-group-communications.html#taboverview. [Accedido: 09-ene-2019].
- [61] Motorola®, «Radio de Base GTR 8000 /Sub Sistema Expansible de Sitio - Motorola Solutions». [En línea]. Disponible en: https://www.motorolasolutions.com/es_xl/productos/project-25-systems/astro-25-site-equipment/gtr-8000.html#tabproductinfo. [Accedido: 08-ene-2019].
- [62] Motorola®, «Hoja de datos de producto: Consola de despacho IP MCC 7500».

Glosario

ADS: Sistema Descentralizado Autónomo
ANE: Agencia Nacional del Espectro
ASN: Access Network Service
BS: Estación Base
CAE: Centro de Atención de Emergencias
CC: Centros de Control
CDGRD: Consejo Departamental de Gestión del Riesgo y Desastres
CDMA: Acceso Múltiple por División de Código
CECOPI: Centro de Coordinación de Operaciones Integrado
CGFM: Comando General de las Fuerzas Militares
CMGRD: Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo y Desastres
CN: Core network
CRC: Comisión de Regulación de Comunicaciones
CRCC: Communications Research Centre Canadá
CRUE: Centro Regulador de Urgencias y Emergencias
DMO: Direct Mode Operation
DVB-H: Digital Video Broadcasting-Handheld
EAS: Sistema de Alerta en Emergencia
eMANETs: Redes Ad Hoc Móviles de Emergencias
EMS: Sistemas de Gestión de Emergencias
ERCN: Emergency Response Communication Network
ETS: Servicio de Telecomunicaciones de Emergencia
FCC: Comisión Federal de Comunicaciones
FDMA: Acceso Múltiple por División de Frecuencia
GAN: Generalized Network Architecture
GETS: Comunicaciones de Gobierno con Trato Prioritario para Emergencias
GFNS: Canadian Government Fibre Network Service
HAPS: High Altitude Platforms Station
IMT: Telecomunicaciones Móviles Internacionales
MANET: Red Ad-Hoc Móvil
MBMS: Multimedia Broadcast/Multicast Service
MinTic: Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
MN: Nodos Móviles
NCS: National System Communications
NS/EP: National Security and Emergency Preparedness
NSPS: Red de Seguridad Nacional y Seguridad Pública
OEA: Organización de Estados Americanos
P-25: Project 25
PMU: Puesto de Mando Unificado
PoC: Push to Talk Over Cellular
PPDR: Radiocomunicaciones de Protección Pública y Operaciones de Socorro
PRST: Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones
PS UE: Equipos de Seguridad del Usuario
PTT: Push to Talk
RDGP: Datos con Conmutación de Paquetes
RECSE: Red Especial Terrestre de Comunicaciones en Emergencia
REDSAT: Red Especial Satelital de Comunicaciones en Emergencias
RICE: Red Integrada de Comunicaciones Estratégicas

RMTP: Red Móvil Terrestre Pública
RNTE: Red Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia
RR: Reglamento de Radiocomunicaciones
RTE: Red de Telecomunicaciones de Emergencia
RTPC: Red Telefónica Pública Conmutada
SHARES: Shared Resources
SIRDEE: Sistema Integrado Radio Digital de Emergencias del Estado
SNGRD: Sistema Nacional de Gestión de Riesgo y Desastre
SNTE: Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia
TDMA: Acceso Múltiple por División de Tiempo
TETRA: Trans European Trunked Radio
TIC: Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
TMNs: Nodos Móviles TETRA
TMO: Trunked Mode Operation
UE: Unión Europea
UEGRD: Unidad Especial de Gestión del Riesgo y Desastre
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones
UNGRD: Unidad Nacional de Gestión del Riesgo y Desastres
USRP: Universal Software Radio Peripheral
UWB: Ultra Banda Ancha
WiMax: World Wide Inter-operability for Microwave Access
WMN: Wireless Mesh Network
WPS: Wireless Priority Service

Anexo 1: Recolección de Información Primaria de las Autoridades

La captura de información se realizó mediante la revisión de documentos institucionales, correos electrónicos y visitas a cada una de las Autoridades encargadas de la coordinación y atención de emergencias en Cundinamarca. A cada institución se compartió el motivo y el objetivo del proyecto de grado, dado lo anterior se solicitó información técnica y administrativa de las comunicaciones de cada Autoridad. Se realizaron entrevistas donde se preguntaba el estado de la infraestructura y de los equipos de radios disponibles para las comunicaciones de emergencia en Cundinamarca.

Tabla 21. Características de equipos de radio en uso de las Autoridades del SNTE de Cundinamarca

Entidad	Marca equipo	Tipo de equipo	Banda	Ubicación de equipos
Unidad Administrativa Gestión de Riesgo y Desastres de Cundinamarca	Hytera MD786	Digital	VHF:136-174MHz	Oficina de Gestión de Riesgo de Cundinamarca
Bomberos de Cundinamarca	Hytera MD786	Digital	VHF:136-174MHz	Central de Bomberos de Cundinamarca
Defensa Civil de Cundinamarca	Hytera	Digital	VHF:136-174MHz	Central de Defensa Civil de Cundinamarca
CRUE de Cundinamarca	Motorola DGM 8500	Digital	VHF:136-174MHz	Central del CRUE de Cundinamarca

Tabla 22. Repetidoras de las Autoridades pertenecientes al SNTE de Cundinamarca

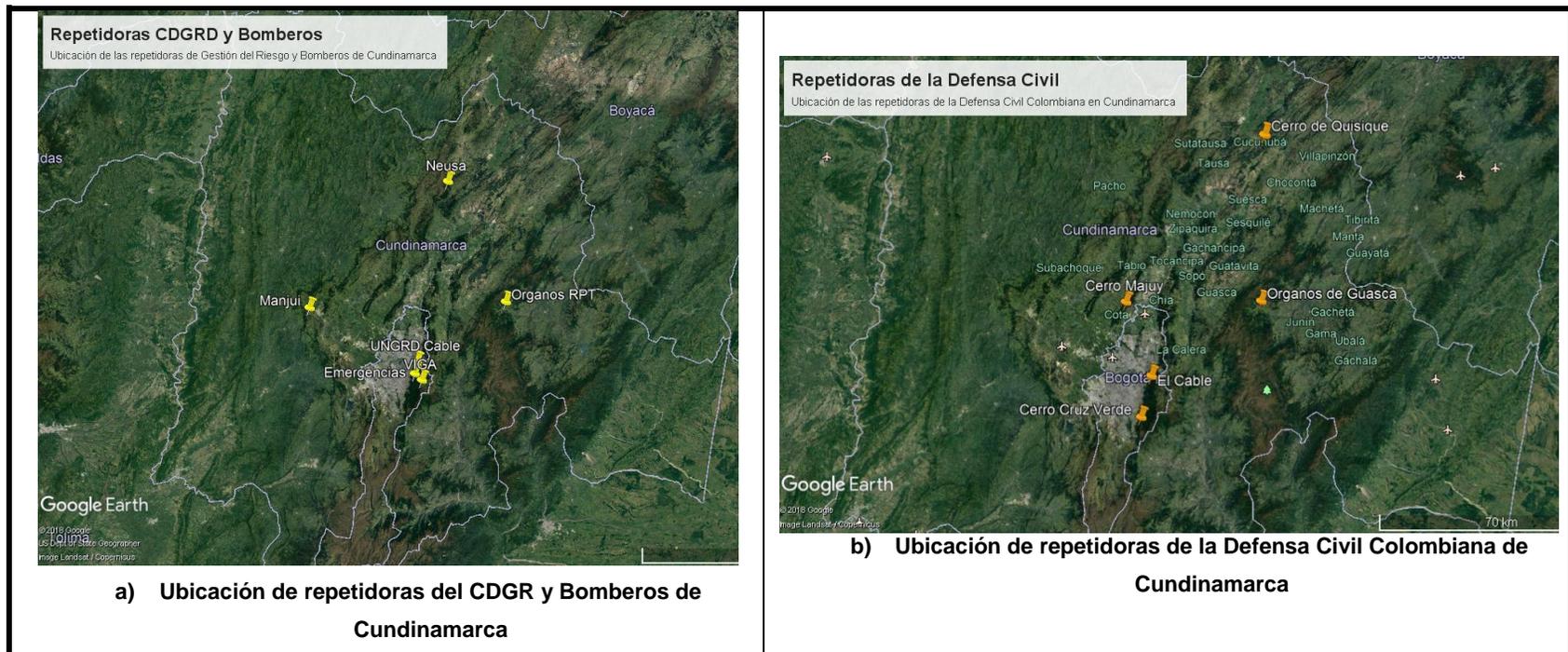
Entidad	Nombre	Tipo de equipo	Frecuencia de operación	Ubicación	Cobertura	Latitud, longitud
Gestión del riesgo y bomberos	Manjui	Repetidora digital	VHF	Zipacón - Cartagenita	Occidente de Cundinamarca	4.54287, -74.1559
	Neusa	Dañada	VHF	Cerro Neusa – Santuario	-	5.202123, -73.954425
	Órganos RPT	Repetidora digital	VHF	Páramo Guasca	Sur de Cundinamarca	4°49'22.09"N - 73°46'10.10"O
	Emergencias	Repetidora	VHF	Entre los cerros de	Centro y oriente de	4.594859, -

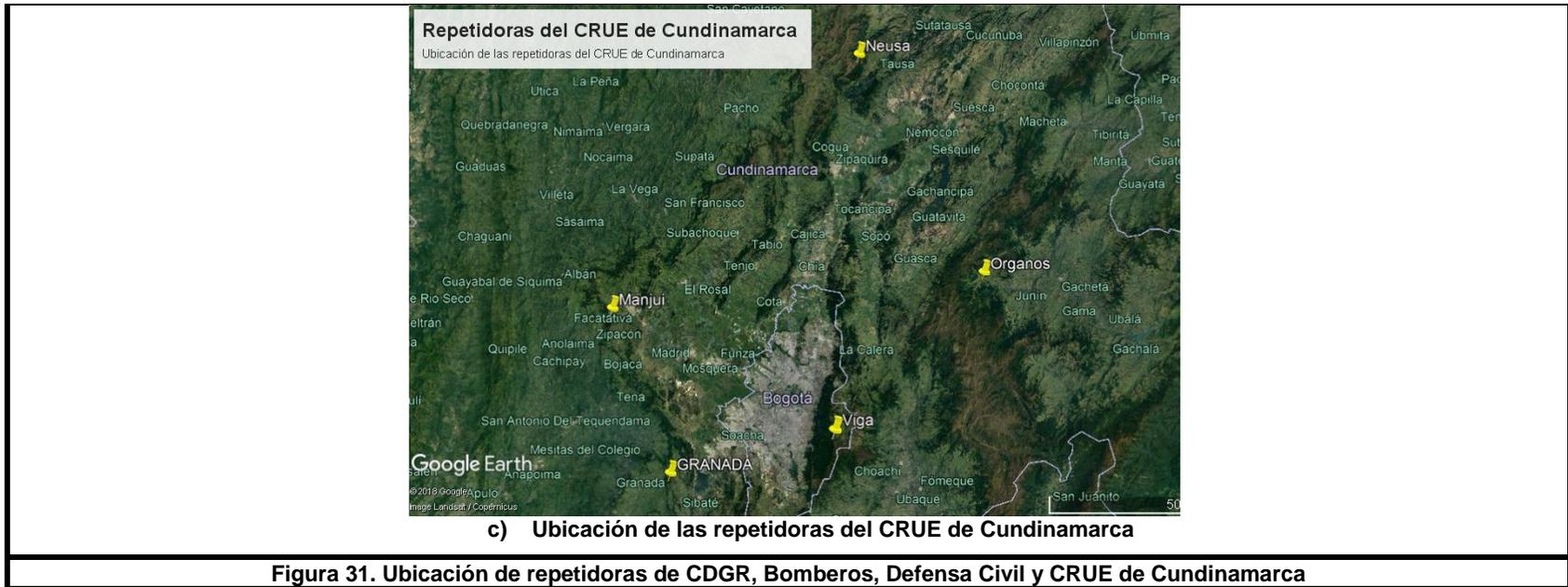
Entidad	Nombre	Tipo de equipo	Frecuencia de operación	Ubicación	Cobertura	Latitud, longitud
		digital		Monserate y Guadalupe	Cundinamarca	74.056660
	UNGRD Cable	Apagada	VHF	Cerro el cable	Centro y oriente de Cundinamarca	4.633318, - 74.050007
Defensa Civil	El cable	Repetidora digital	UHF	Cerro Alto del Cable	Centro y oriente de Cundinamarca	4.631203, - 74.050620
	Cerro Quisque	Apagada	VHF	Cerro Quisque de Cucunubá	Nororiente de Cundinamarca	5°14'43.07"N, 73°45'41.91"O
	Cerro de Los Órganos	Repetidora digital	VHF	Paramo de Guasca	Oriente y centro de Cundinamarca	4°49'22.09"N, 73°46'10.10"O
	Cerro Majuy	Repetidora digital	VHF	Cerro Manjui de Zipacón	Occidente y centro de Cundinamarca	4°49'11.06"N, 74° 6'59.58"O
	Cerro Cruz Verde	Repetidora digital	VHF	Paramo Cruz Verde	Oriente de Cundinamarca	4°34'14.56"N, 74° 1'53.42"O
Fracol	Fracol Bogotá	Repetidora digital	145,330	Cerro de Guadalupe , Bogotá	Nacional	4°35'30.57"N - 74° 3'16.09"O
Liga Radio Bogotá HK3LRB	-	-	147,210	Cerro Pan de Azúcar	Local	4°52'59.28"N - 74° 8'5.77"O
	-	-	147,150	Cerro el Aguanoso, Bogotá	Local	4.57777, - 74.05273
	-	-	147,690	Los Sóches	Local	4.489228, - 74.084763

Entidad	Nombre	Tipo de equipo	Frecuencia de operación	Ubicación	Cobertura	Latitud, longitud
Radio Club El Dorado Bogotá HK3RD	Cerro Alpes	-	434,175	Cerro los Alpes	-	4.62453, - 73.10116
	-	-	146,700	Cerro los Alpes	Local	4.54287, - 74.1559
	-	-	147,030	Cerro Manjui	Nacional	4.54287, - 74.1559
Liga Colombiana de radioaficionados	Cerro Granada HK3SB (5K3PRS-1)	Repetidora digital	144,390	Cerro Granada	Regional	4.522778, - 74.311111
	Cerro Cruz Verde HK3SB	Apagada	145,490	Cerro Cruz	Nacional	4.525833, - 74.077222
	Cerro El Cable HK3SB	Apagada	147,090	Cerro el cable	-	4.631111, - 74.050278
	Aprs Igate HK3LR	-	144,390	-	-	4.672167, - 74.055167
	Cerro Manjui HK3LR	-	144,390	-	Nacional	4.54287, - 74.1559
CRUE	Órganos	Repetidora digital	VHF	Cerro de Guasca	Norte y centro de Cundinamarca	4°49'22.09"N - 73°46'10.10"O
	Granada	Digital	VHF	Cerro Granada	Sur occidente de Cundinamarca	4.522778, - 74.311111
	Manjui	Digital	VHF	Cerro Manjui	Occidente y centro de Cundinamarca	4°49'11.06"N, 74° 6'59.58"O
	Viga	Digital	VHF	Alto de la Viga	Centro y oriente de Cundinamarca	4°34'31.95" N, 74°02'04.25" O
	Neusa	Digital	VHF	Cerro Neusa - Santuario	Norte de Cundinamarca	5.202123, - 73.954425

Anexo 2: Ubicación de las Repetidoras de las Autoridades de Cundinamarca

A continuación, se muestra la ubicación de las repetidoras de las Autoridades de coordinación y atención de emergencias y desastres del departamento de Cundinamarca. La información fue obtenida a partir de entrevistas y visitas a las instalaciones de cada institución. Las ubicaciones se detallan en las imágenes de la Figura 31 y Figura 32:

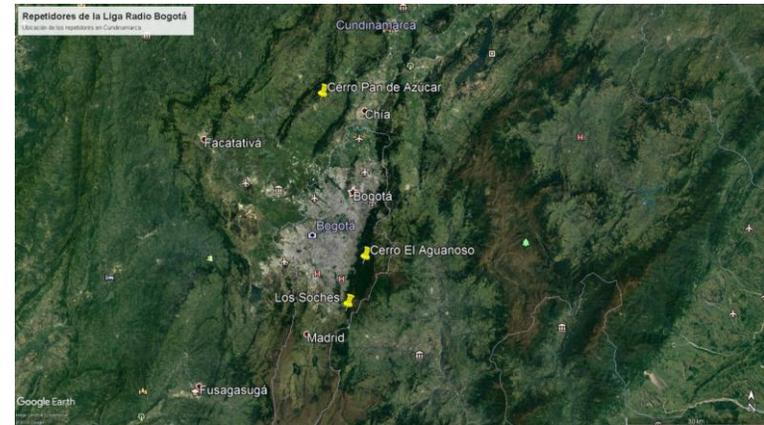




Finalmente, visualizar la ubicación de las repetidoras en el mapa de Cundinamarca fue de gran relevancia para dimensionar la infraestructura general de las comunicaciones de las Autoridades de coordinación y atención de emergencias de la región y de esta forma precisar las simulaciones de cobertura.



a) Ubicación de las repetidoras de la Liga Colombiana de Radioaficionados en Cundinamarca



b) Ubicación de repetidoras de la Liga Radio Bogotá



c) Ubicación de repetidoras de Radio Club el Dorado



d) Ubicación de las repetidoras de Fracol en Cundinamarca

Figura 32. Ubicación de las repetidoras de la Liga Colombiana de Radioaficionados en Cundinamarca

Anexo 3: Puesto de Mando Unificado (PMU) para las Elecciones del Día 27 de mayo del 2018

La participación, como observador, en el PMU realizado en el Comando de la Policía Nacional de Cundinamarca se logró gracias a la colaboración de la UAGR de Cundinamarca. A continuación, se presenta el informe respectivo.

¿Qué es un PMU?

Un PMU es una organización de carácter temporal que facilita la coordinación interinstitucional en la respuesta ante las emergencias, compuesto por los miembros de las instituciones que participan en la atención de las emergencias, autorizados para tomar decisiones.

¿Cómo opera?

En una mesa de trabajo se reúnen los principales representantes de las entidades o Autoridades relacionadas con la seguridad nacional y el gobierno. En una sala secundaria, se reúne el personal de apoyo o acompañamiento de las Autoridades con una proyección que comparte la imagen y audio lo de la mesa principal. Esa mesa, se conforma por representantes de más alto cargo de las siguientes entidades:

- Bomberos de Colombia
- Policía Nacional
- Sijín
- Ejército Nacional
- CTI
- Procuraduría
- Gobernación
- El Gobernador
- El Ministro de defensa
- Prensa
- Defensa Civil Colombiana
- Gestión del Riesgo
- Fuerza Aérea Colombiana

El día de las elecciones presidenciales realizadas el 27 de mayo del 2018, se conformó un PMU en todos los municipios de Cundinamarca. Iniciaron los reportes a las 8:30 am con un periodo de 2 horas hasta las 4:30 pm. Con el objetivo de coordinar a los organismos,

entidades de socorro y apoyo para mantener el orden público del Departamento de Cundinamarca.

Proceso de desarrollo del PMU:

A continuación, se detalla el proceso de establecimiento y desarrollo del PMU para las elecciones presidenciales del 2018:

- Se estableció el PMU y se socializó a los integrantes la información disponible sobre las características del evento.
- El Ministro de defensa abrió oficialmente el PMU a las 8:00 AM, informó el despliegue y cubrimiento de las diferentes fuerzas públicas involucradas, la cantidad de oficiales y puestos de votación.
- Se desarrolló la evaluación de daños, riesgos asociados y análisis de necesidades.
- Los casos de incidentes, los representantes de la registraduría asesorados de la policía hicieron la identificación, evaluación y clasificación del suceso, y posteriormente se realizó el informe a las entidades encargadas.
- El representante de cada entidad estableció un conducto para la entrega de los reportes y el seguimiento de novedades de sus respectivas unidades desplegadas en el Departamento.
- Concertaron la versión oficial sobre datos y estadística de la emergencia.
- Según sea la clasificación de la urgencia, así mismo usaron la herramienta de comunicación correspondiente, ya sea internet para comunicar reportes básicos, WhatsApp para enviar información a grupos, llamadas para respuestas inmediatas o a personal directo. Todas las anteriores usaron la red privada de la policía.
- Al final se realizó la reunión de cierre y retroalimentación por cada una de las Autoridades.

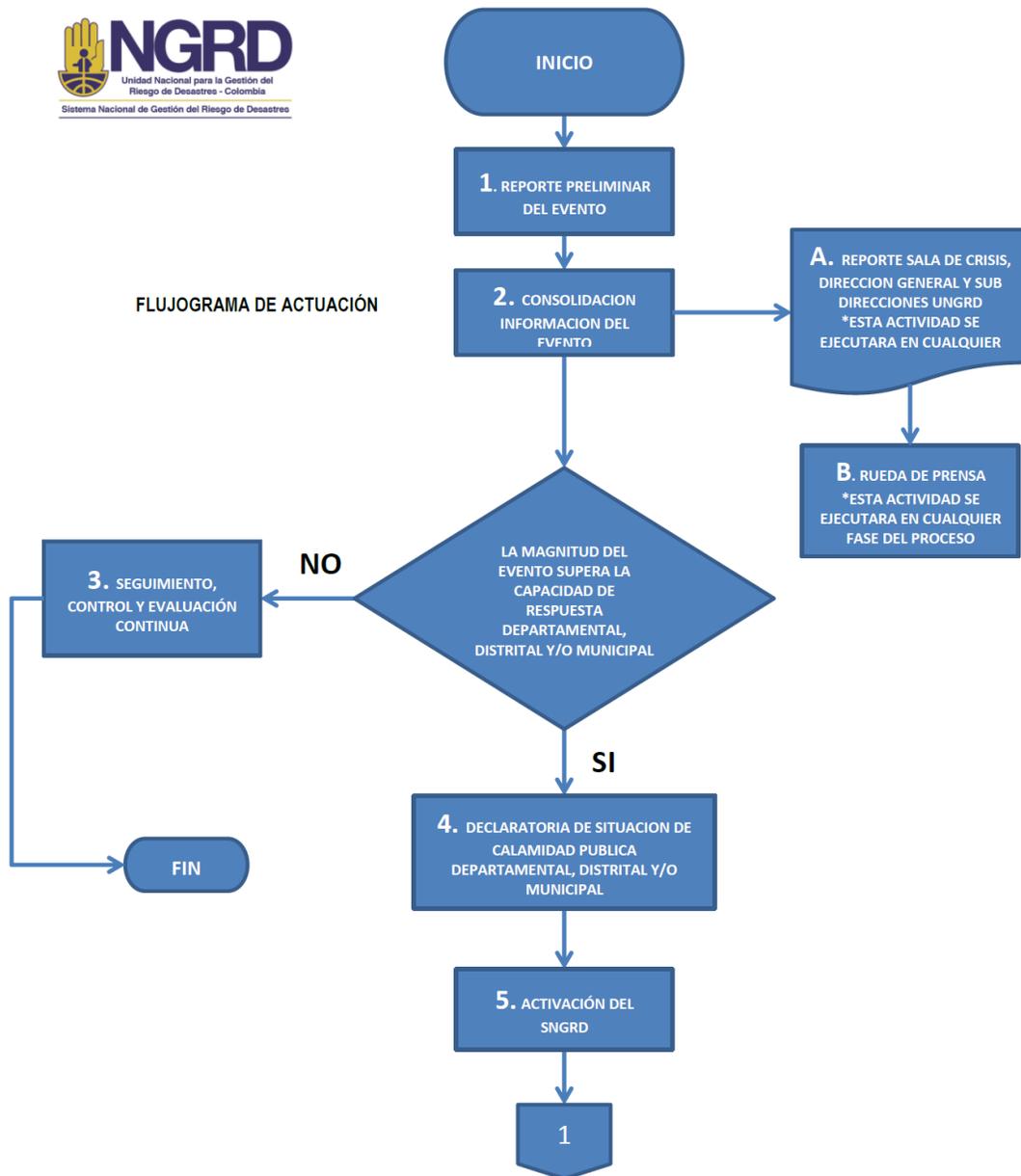
Limitaciones y oportunidades de mejora identificadas:

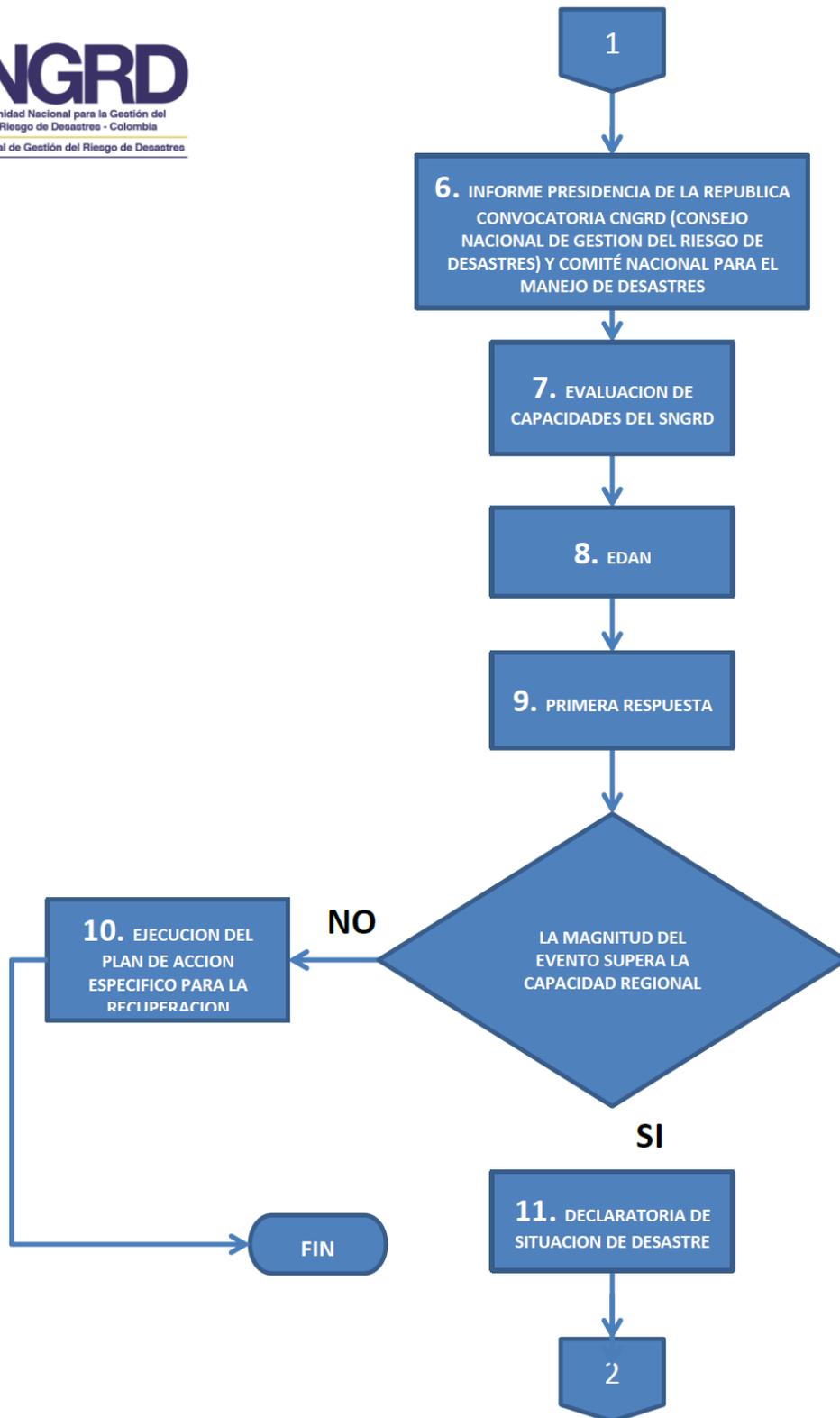
Finalmente, en el desarrollo del PMU, se identificaron varias limitaciones y posibilidades de mejora, que sirvieron de insumo para determinar parámetros técnicos y tecnológicos que generen soluciones a las Autoridades a través del diseño de la red Autoridad-Autoridad. Las limitaciones y oportunidades de mejora son:

- Identificación del personal que ingresa al PMU, el listado estaba incompleto, y generó la oportunidad para que personal no autorizado ingresara.
- La principal herramienta de comunicación entre Autoridades es la mensajería por WhatsApp.
- Debido al aislamiento se generó incomunicación de los sucesos en tiempo real ocurridos fuera del PMU, el personal en las diferentes mesas permaneció desconectados si no fuera por el servicio de datos móviles de cada persona. Solo la sala de la mesa principal disponía de televisión para poder estar informados, no usaron algún otro medio de comunicación por ejemplo las emisoras.
- Los reportes se realizaban cada 2 horas, lo que hizo tedioso la espera de los reportes, y provocó que las personas se dispersaran.
- La comunicación de la sala principal a la secundaria fue de una sola vía, sin posibilidad de que el personal de apoyo pudiera responder de forma eficaz.
- El personal de la mesa principal llegó a un punto de desinformación debido al no tener una fuente constante de noticias diferente a los canales privados de televisión.

Anexo 4: Flujograma de Actuación en Emergencias

Este protocolo es una herramienta de la UNGRD que permite la planificación ordenada para dar respuesta a emergencias que se presentan en el territorio nacional, sirviendo de guía y cumpliendo el marco normativo contenido en la Ley 1521 de 2012.





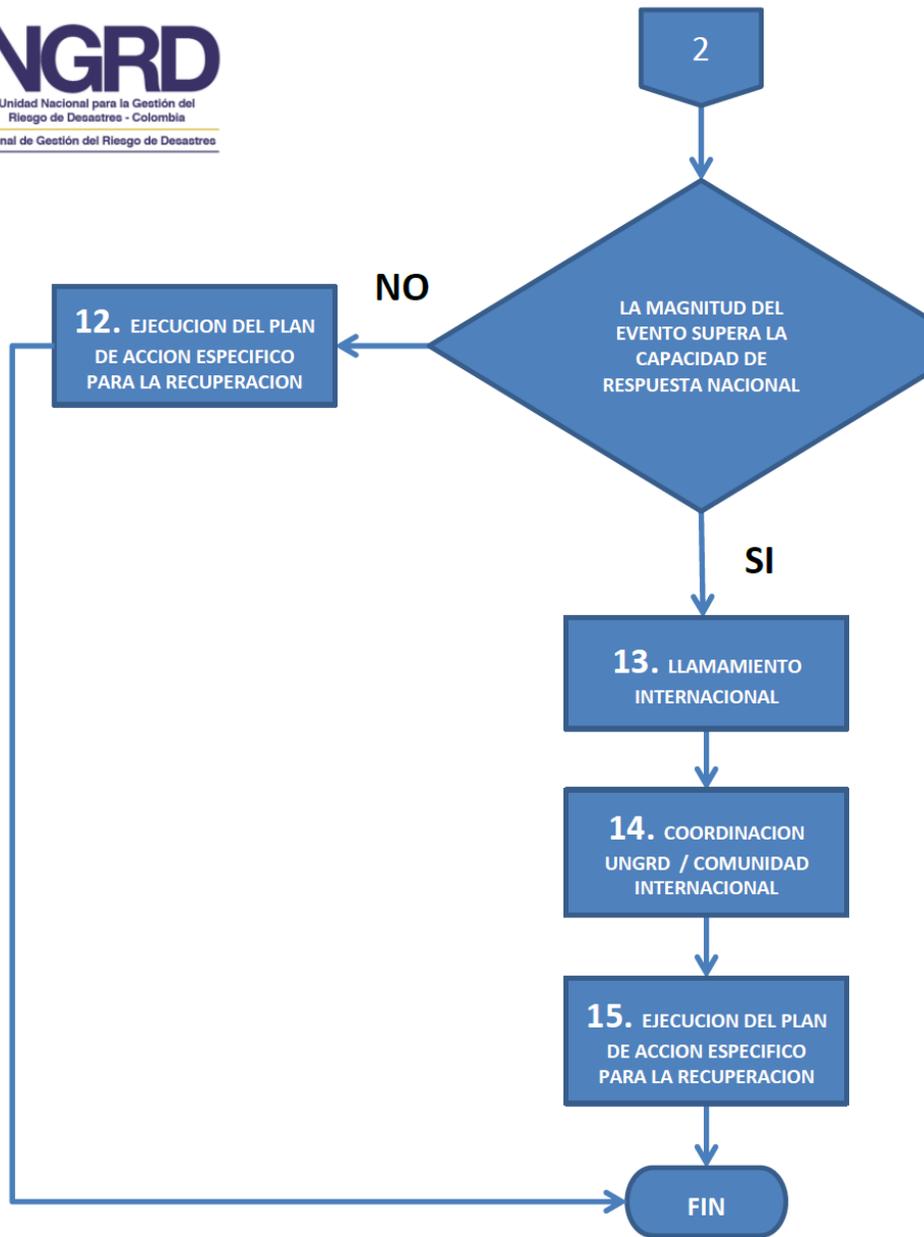


Figura 33. Flujograma de actuación de emergencias

El protocolo anterior, orientó en la realización del diseño de los protocolos, flujos de información y planteamiento del escenario de la simulación utilizada en la prueba piloto.

Anexo 5: Ubicación Física de las Principales Autoridades Coordinadoras de Cundinamarca

Las Autoridades en casos de desastre tienen sitios estratégicos para la coordinación y toma de decisiones tales como, Gestión del Riesgo de Cundinamarca y el Centro Operativo de Emergencias que cuenta con dos ubicaciones institucionalizadas en el Consejo Departamental para la Gestión del Riesgo y en la Alcaldía de Bogotá.

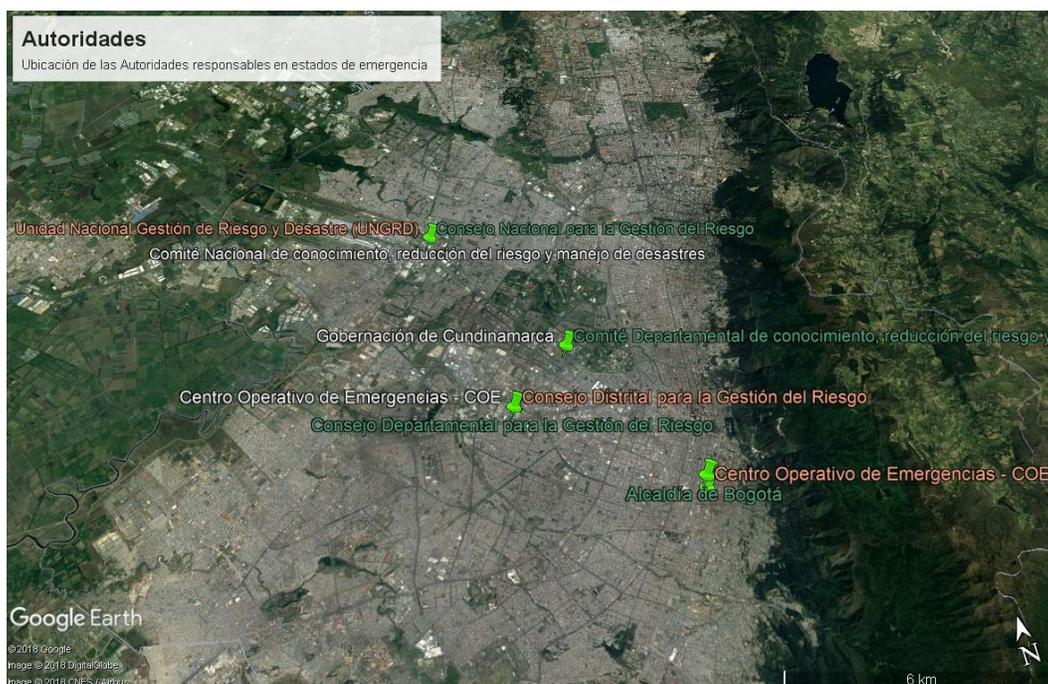


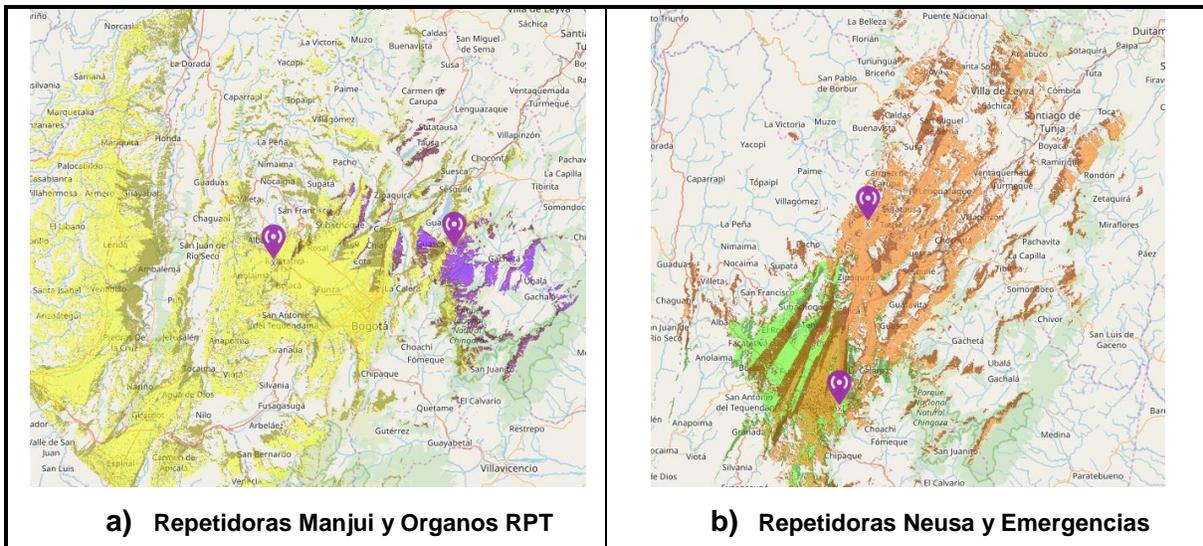
Figura 34. Ubicación de las principales Autoridades coordinadoras de Cundinamarca

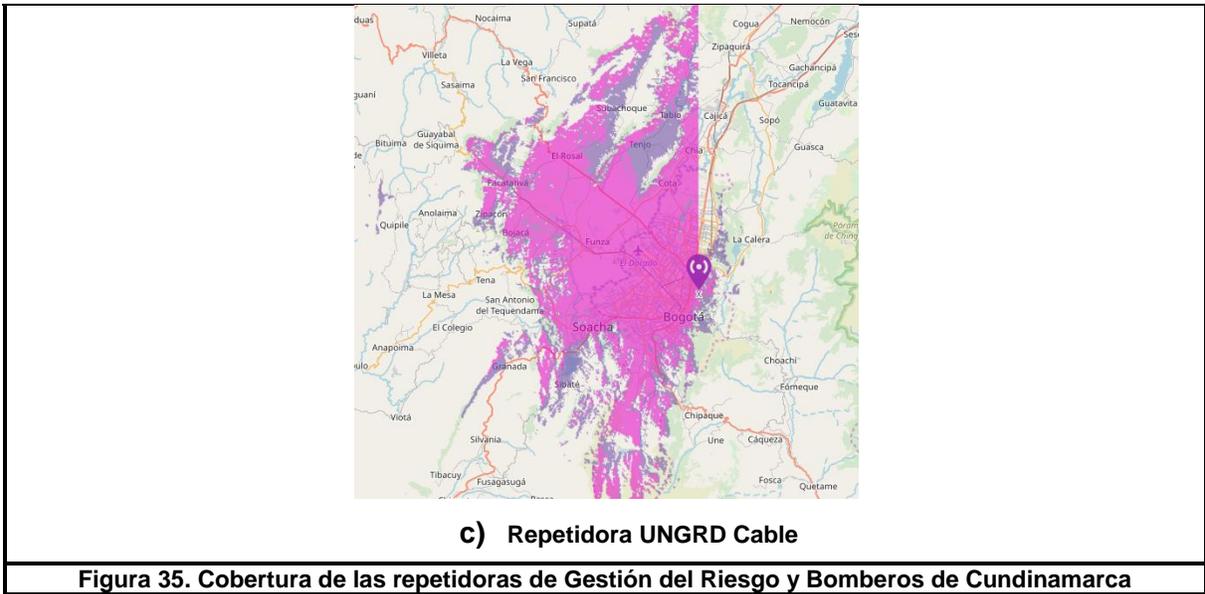
Anexo 6: Cobertura de las Repetidoras de las Principales Autoridades de Cundinamarca

A continuación se muestran los resultados de las simulaciones de cobertura de las repetidoras de las principales Autoridades de coordinación y atención de emergencias y desastres de Cundinamarca.

6.1 Coberturas de las Repetidoras de Gestión del Riesgo y Bomberos

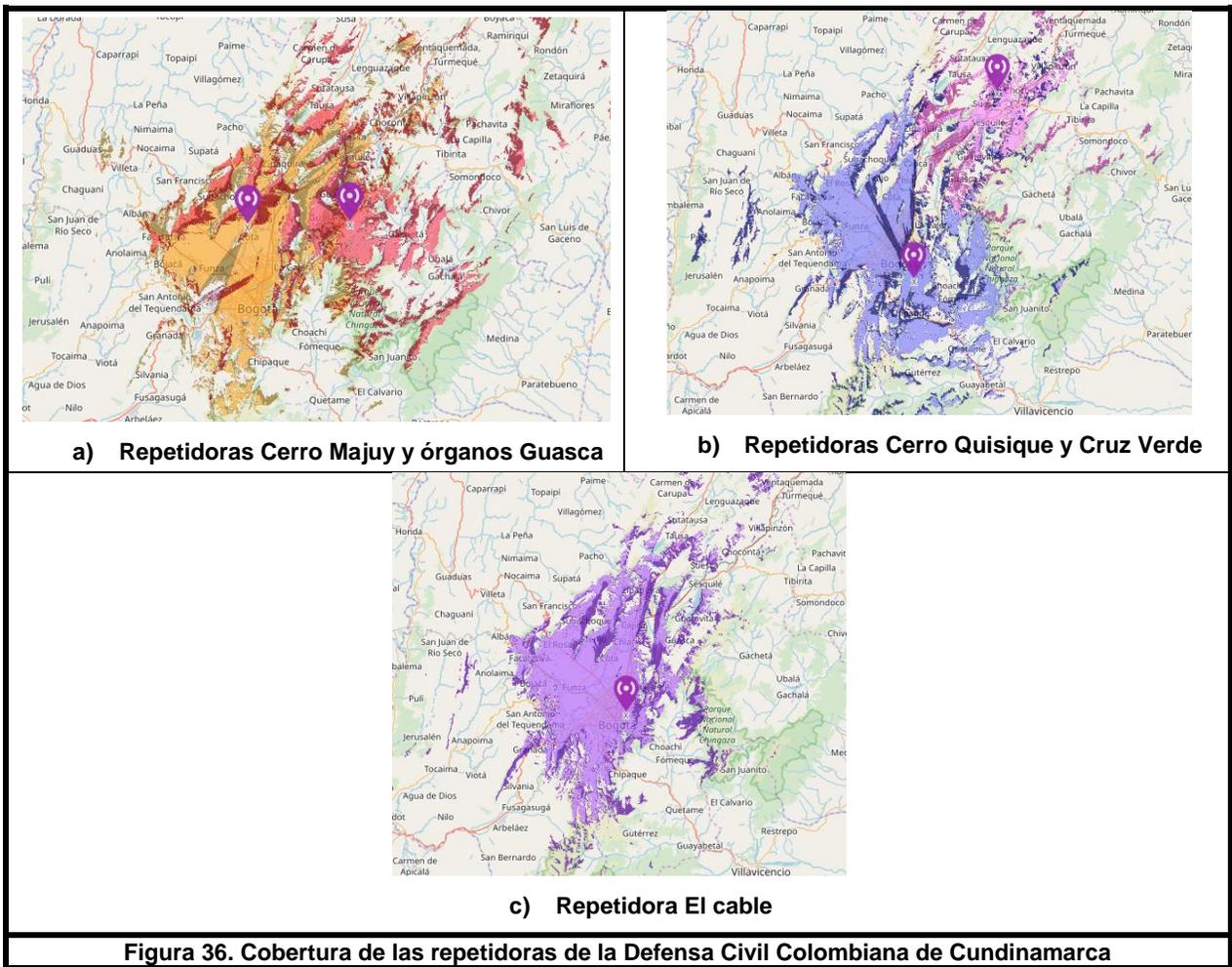
En el Capítulo 4, se realizó el análisis de la información recolectada en el diagnóstico de las comunicaciones de emergencia. Se simuló las coberturas de las repetidoras de las principales Autoridades de coordinación y atención de emergencias de Cundinamarca.





6.2 Coberturas de las Repetidoras de la Defensa Civil de Cundinamarca

Estas simulaciones de cobertura complementan el análisis de la red de telecomunicaciones de emergencia del Capítulo 4. Realizada de la información recolectada en el diagnóstico de las comunicaciones de emergencia. Se simuló las coberturas de las repetidoras de las principales Autoridades de coordinación y atención de emergencias de Cundinamarca.



La simulación de cobertura permitió identificar zonas con capacidad de enlace a las estaciones repetidoras y de esta forma se planteó en la prueba piloto el escenario de interoperabilidad.

Anexo 7: Protocolos y Formato de Resultados para la Prueba Piloto

Los protocolos son la herramienta fundamental para realizar preparativos para asumir elementos básicos para un posible estado de desastre y conocer las metodologías para el uso adecuado de la red de comunicaciones dedicada a la interoperabilidad. El formato de evaluación tuvo la función de realimentar y validar por parte Autoridades participantes de la simulación el cumplimiento de las actividades planteadas en el guion y el uso de los protocolos.

Tabla 23. Protocolo de Uso de la Red de Comunicaciones del CRUE

Protocolo de Uso de la Red de Comunicaciones del CRUE			
Fecha de elaboración 18/02/2019		Autor Ing. Alexander Gordillo Gaitán – Escuela Colombiana de Ingeniería	
Revisores Ing. Guillermo Teuta Gómez – Escuela Colombiana de Ingeniería Ing. William Bermúdez Romero – CRUE de Cundinamarca			
Descripción El protocolo permite conocer una metodología para preparar elementos necesarios para el uso adecuado de la red de comunicaciones del CRUE por entidades externas al sistema, para el desarrollo de la simulación de un escenario de desastre para poner a prueba y evaluar parámetros de las comunicaciones entre Autoridades.			
Acción			Estado
Realizar enlace con la frecuencia dedicada a la integración de Autoridades. Frecuencia principal: Rx 156.725 - Tx 148.375 Frecuencia secundaria: Rx 164.425 - Tx 171.700			
Identificarse con el ID de cada radio al realizar el enlace a la red.			
Solicitar permiso para entrar a la frecuencia			
Evitar usar códigos, palabras, códigos o abreviaturas de uso exclusivo de cada institución, usar el lenguaje español de manera clara. (Resolución 4481 de 2012)			
Utilizar un lenguaje claro, respetuoso y abierto.			
Usar la palabra “Canal libre” al terminar de enviar cada mensaje.			
El canal no podrá ser utilizado con otros fines que no sean la coordinación y desarrollo de la simulación.			
Responsable	Institución	Firma	Fecha

Tabla 24. Protocolo de Logística

Protocolo de Logística			
Fecha de elaboración 20/01/2019	Autor Ing. Alexander Gordillo Gaitán – Escuela Colombiana de Ingeniería		
Revisores Ing. Guillermo Teuta Gómez – Escuela Colombiana de Ingeniería Ing. William Bermúdez Romero – CRUE de Cundinamarca			
Descripción El protocolo permite realizar las acciones previas para adecuar elementos y procedimientos necesarios para el desarrollo de la simulación de un escenario de desastre para poner a prueba y evaluar parámetros de las comunicaciones entre Autoridades coordinadas por Gestión del Riesgo, utilizando una propuesta de un diseño de una red de comunicaciones.			
Previo a la Simulación			
Acción	Estado		
Validación técnica, operativa y administrativa de las características de la propuesta de simulación.			
Aprobación por parte de Gestión del Riesgo y el CRUE de Cundinamarca de la simulación.			
Programación de la fecha para la realización de la simulación.			
Realización de carta o documento que evidencie el compromiso y la participación técnica, operativa y logística de cada una de las Autoridades propuestas.			
Citación formal del personal de cada entidad en la fecha aprobada anteriormente.			
Coordinar con la Autoridad coordinadora la configuración de equipos para la conformación de la red propuesta.			
Usar protocolos de logística, gestión administrativa y de comunicaciones			
Durante la Simulación			
Acción	Estado		
Realizar seguimiento y registro de las actividades detallado en cada formato			
Posterior a la Simulación			
Acción	Estado		
Realizar las evaluaciones detalladas en cada protocolo			
Responsable	Institución	Firma	Fecha

Tabla 25. Protocolo de Simulación

Protocolo de Simulación			
Fecha de elaboración 20/01/2019		Autor Ing. Alexander Gordillo Gaitán – Escuela Colombiana de Ingeniería	
Revisores Ing. Guillermo Teuta Gómez – Escuela Colombiana de Ingeniería Ing. William Bermúdez Romero – CRUE de Cundinamarca			
Descripción El protocolo permite verificar elementos técnicos, procedimientos, protocolos y acciones previas para preparar el desarrollo de la simulación de un escenario de emergencia para poner a prueba y evaluar parámetros de las comunicaciones entre Autoridades, utilizando una propuesta de un diseño de una red de comunicaciones.			
Previo a la Simulación			
Acción			Estado
Conocer el guion y el contexto de la simulación			
Verificar el protocolo de comunicaciones			
Verificar la existencia de equipos de radio			
Verificar el funcionamiento de los equipos			
Verificar la disponibilidad del personal técnico de la Autoridad coordinadora			
Verificar la disposición de elementos de apoyo y soporte de los radios (baterías, plantas de combustible, antenas, cables, etc ...)			
Conocer los protocolos que se usaran en la simulación			
Conocer el plan de actividades al personal que participa en la simulación			
Asignar roles y funciones a cada Autoridad			
Disponer de insumos técnicos y operativos			
Tener el formato de informe de la simulación			
Durante la Simulación			
<ul style="list-style-type: none"> Realizar seguimiento al desarrollo de la simulación (usar formato del guion) Verificar el cumplimiento del guion y realizar registro (usar formato del guion) 			
Posterior a la Simulación			
<ul style="list-style-type: none"> Llenar formato de informe de resultados de la simulación Consolidado o informe general 			
Responsable	Institución	Firma	Fecha

Tabla 26. Protocolo de las Comunicaciones

Protocolo de las Comunicaciones			
Fecha de elaboración 20/01/2019	Autor Ing. Alexander Gordillo Gaitán – Escuela Colombiana de Ingeniería		
Revisores Ing. Guillermo Teuta Gómez – Escuela Colombiana de Ingeniería Ing. William Bermúdez Romero – CRUE de Cundinamarca			
Descripción El protocolo permite verificar y preparar el estado de los elementos de apoyo, equipos de radio y sus componentes de soporte necesarios para el desarrollo de la simulación de un escenario de un estado de desastre para poner a prueba y evaluar parámetros de las comunicaciones entre Autoridades coordinadas por Gestión del Riesgo, utilizando una propuesta de un diseño de una red de comunicaciones.			
Previo a la emergencia			
Acción	Estado		
Verificar la existencia de equipos de radio			
Verificar el funcionamiento de los equipos			
Verificar la disponibilidad del personal técnico de la Autoridad coordinadora			
Verificar la disposición de elementos de apoyo y soporte de los radios (baterías, plantas de combustible, antenas, cables, etc ...)			
Verificar la disponibilidad del personal técnico de la Autoridad coordinadora			
Durante la emergencia			
Acción	Estado		
Evidencia del desarrollo de la simulación (fotografías de equipos, participantes, protocolos y formatos)			
Posterior a la emergencia			
<ul style="list-style-type: none"> • Usar formato de informe de resultados 			
Responsable	Institución	Firma	Fecha

Tabla 27. Formato Informe de Resultados

Formato Informe de Resultados			
Fecha de elaboración 20/02/2019	Autor Ing. Alexander Gordillo Gaitán – Escuela Colombiana de Ingeniería		
Revisores Ing. Guillermo Teuta Gómez – Escuela Colombiana de Ingeniería Ing. William Bermúdez Romero – CRUE de Cundinamarca			
Descripción El formato de informe de resultados es un consolidado de las actividades de la simulación de un estado de desastre y evaluación de las comunicaciones Autoridad-Autoridad.			
Preguntas de Realimentación			
	Pregunta	Si/No	
	¿Se cumplieron a cabalidad todos los eventos del guion?		
	¿Se aplicó el protocolo de comunicaciones?		
	¿Los protocolos de simulación y logística fueron de ayuda en la preparación de la actividad?		
	¿La simulación de incidentes fueron realizados a conciencia?		
	Describir la solución aplicada en la reincorporación del servicio de comunicación Autoridad-Autoridad (si aplica)		
	Comentarios o sugerencias		
Responsable	Institución	Firma	Fecha

Anexo 8: Memorias de la Prueba Piloto

MEMORIAS DE LA PRUEBA PILOTO: SIMULACIÓN DE UN ESTADO DE EMERGENCIA PARA VALIDAR LOS PARÁMETROS DE DISPONIBILIDAD, REDUNDANCIA Y LATENCIA DE UN DISEÑO DE RED DE EMERGENCIA AUTORIDAD-AUTORIDAD

En el desarrollo del proyecto de maestría titulado “Diseño de una red de comunicaciones Autoridad-Autoridad del Sistema Nacional de Telecomunicaciones de Emergencia (SNTE) de Colombia para Cundinamarca” de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, se plantea realizar una prueba piloto para validar los parámetros de redundancia, disponibilidad, robustez y baja latencia del diseño de una red de comunicaciones de emergencia Autoridad-Autoridad para estados de desastre en el departamento de Cundinamarca.

1. DISEÑO POR INTEGRACIÓN DE UNA RED REGIONAL PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS Y DESASTRES

Se diseñó una red regional para soportar las comunicaciones Autoridad-Autoridad que pudiera cumplir con los requerimientos establecidos para la atención de emergencias y desastres, de forma tal que pueda ser escalado e implementado a futuro en el ámbito nacional. El diseño propuesto soporta la integración de diferentes tecnologías que componen actualmente el sistema de telecomunicaciones de emergencia y desastres bajo una sola arquitectura escalable. En el diseño se expone qué alternativas de respuesta puede tener el sistema en la comunicación Autoridad-Autoridad bajo los diferentes niveles de emergencia y desastre.

El diseño considera compartir la misma tecnología e incluso la misma infraestructura para suplir las necesidades de comunicación en los niveles más altos de coordinación de emergencias y desastres. Se plantea compartir la misma tecnología entre diferentes Autoridades, bajo subsistemas que cumplan el estándar P25, para que cada Autoridad pueda operar sus comunicaciones de forma aislada sin necesidad de interferir con la de las otras entidades. En caso de una emergencia grave o desastre se podrá integrar en una sola red las entidades coordinadoras con solo reconfiguración el sistema.

La red de emergencias y desastres Autoridad-Autoridad que se aprecia en la Figura 37, está basada en el protocolo Project 25 o APCO-25, surgió de un estudio y análisis de las tecnologías de éxito en el ámbito internacional y del diagnóstico de la red comunicaciones de emergencias de Cundinamarca. Pero ante todo para dar cumplimiento a los requisitos operativos de las comunicaciones de emergencia, descritos en el reporte M.2033 de la UIT.

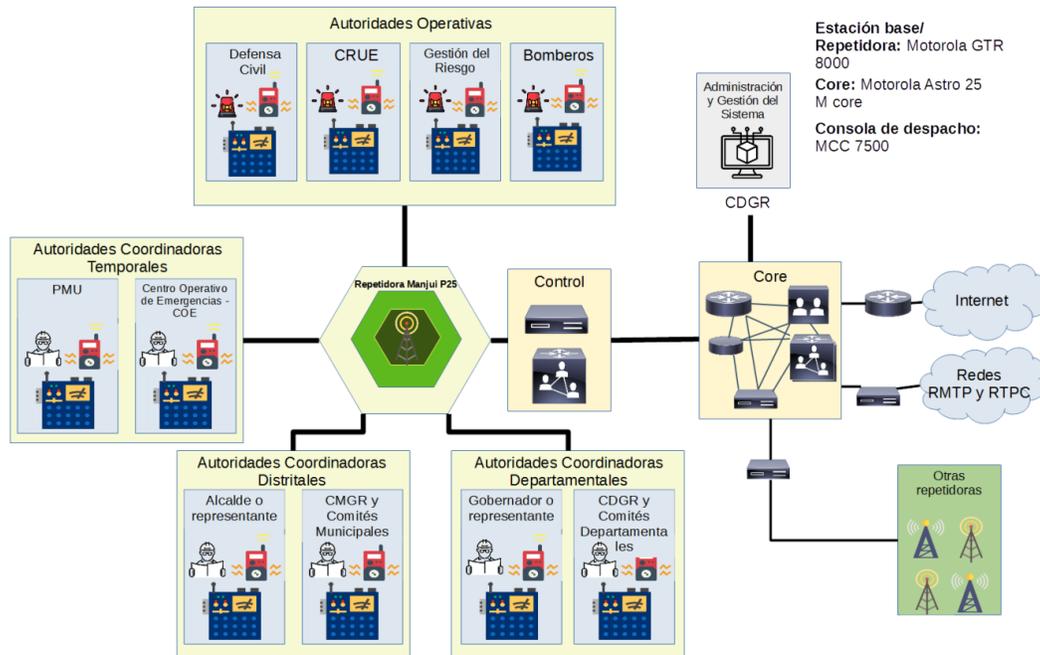


Figura 37. Diseño comunicaciones de desastres Autoridad-Autoridad para Cundinamarca

La repetidora de tecnología P25 ubicada en el cerro Manjui, tendría la misma cobertura geográfica que los puntos de repetición de los sistemas VHF actuales sobre las Autoridades coordinadoras de emergencias y desastres de Cundinamarca (ver Figura 38), teniendo en cuenta las características de radiación permitidas en Colombia. Dada la flexibilidad del sistema propuesto, este se puede escalar para satisfacer las necesidades de cobertura geográfica de diferentes entidades, ya sea que se trate de sistemas de pequeñas organizaciones o de toda una región.

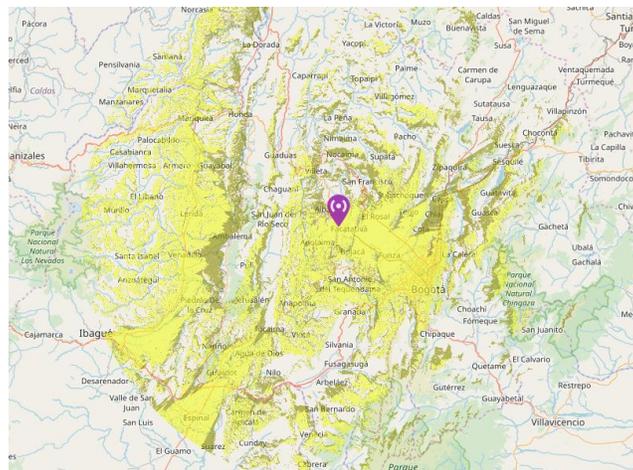


Figura 38. Simulación de cobertura repetidora Manjui sistema P25

El diseño propuesto plantea emplear equipos de tecnología que usen el protocolo P25, tales como: la repetidora/estación base Motorola GTR 8000, la consola de despacho MCC 7500 y el Core Astro 25 M. Dado que, las Autoridades coordinadoras de emergencias y desastres no disponen de estas tecnologías y tampoco tienen la capacidad de adoptarla en corto plazo, ya que su implementación requería de una gran inversión, se planteó realizar una simulación y medir los parámetros de disponibilidad, redundancia y latencia del diseño adaptándolo a la tecnología que está disponible, hoy en día, en algunas de las Autoridades.

2. PROPUESTA DE LA PRUEBA PILOTO

Dado que en el diagnóstico realizado se pudo establecer que Gestión del Riesgo de Cundinamarca, como la Autoridad encargada de la coordinación y atención de emergencias y desastres a nivel departamental, no dispone de infraestructura suficiente para atender un desastre real o para realizar la actividad de interoperabilidad de Autoridades en una simulación, se propuso con el apoyo del Centro Regulador de Urgencias y Emergencias (CRUE) de Cundinamarca, utilizar sus equipos de radio VHF, tales como la repetidora MTR 3000 ubicada en Cerro Viga que brinda a las Autoridades de la ciudad de Cundinamarca el recurso para su comunicación, la gestión de canales que se realiza desde el sitio de coordinación y gestión de la red, además de radios móviles VHF Motorola MotoTrbo DGM 8500 con los servicios de voz y datos, conectividad Bluetooth, GPS integrado y mensajería de texto, también dispone de una programación de 1000 canales para las comunicaciones de voz y datos en un solo sitio sin agregar nuevas frecuencias.

El diseño de la red de emergencias y desastres adaptado y restringido a la tecnología disponible por las Autoridades se visualiza en la Figura 39. Las Autoridades participantes realizarían el enlace a la repetidora Viga y estarían bajo la coordinación del Consejo Departamental de Gestión del Riesgo (CDGR) de Cundinamarca. Se propuso, además, realizar una presentación a las Autoridades interesadas para contextualizar los temas relacionados con la prueba piloto, proporcionando el guion, descripción del escenario, formatos y protocolos para la preparación de las actividades de la simulación.

La red de simulación propuesta en la Figura 39 se compone de un sitio de coordinación y gestión de la red, administrado por el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo (CDGR) y centralizado en las instalaciones del CRUE de Cundinamarca. Este sitio será dedicado a la gestión técnica de la red y el seguimiento al estado operativo de sus elementos que, además, se encargarán de recibir los comunicados de las Autoridades y tomar decisiones tácticas y de operación pertinentes.

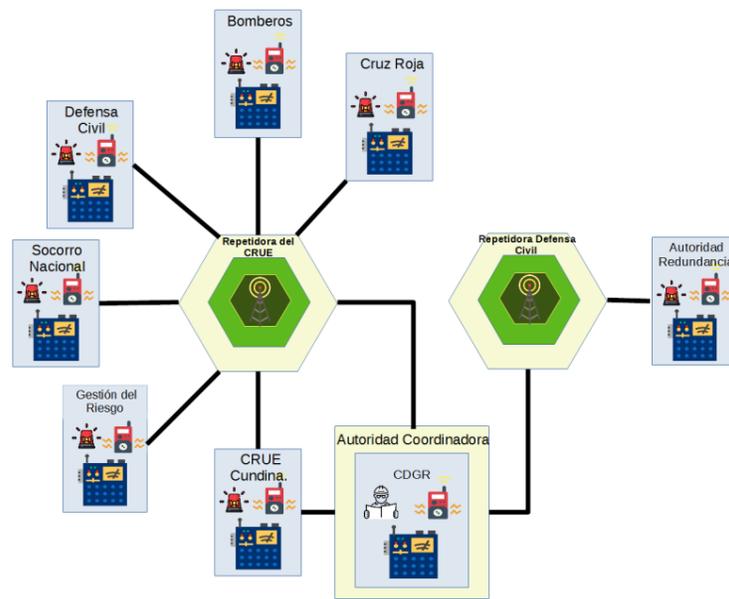


Figura 39. Diseño red de emergencias y desastres para la prueba piloto

El CDGR de Cundinamarca es una instancia de coordinación, asesoría, planeación y seguimiento quienes garantizan la efectividad y articulación de los procesos de la Gestión del Riesgo, e igualmente cuentan con un grupo de personal especializado en la atención y coordinación de emergencias y desastres de modo que son un apoyo esencial en la validación y desarrollo de la simulación propuesta.

El CRUE es el encargado de coordinar la atención y resolución de urgencias médicas, las emergencias y los desastres de Cundinamarca a través del Sistema de Emergencias Médicas. Disponen de equipos tecnológicos modernos y de un grupo de expertos en comunicaciones para transmitir la información precisa sobre el lugar de la emergencia o el desastre. El CRUE nos permitirá validar la estructura técnica frente a las necesidades operativas de la simulación y su importante realimentación del diseño.

2.1 Parámetros críticos de la red

La configuración de la red propuesta permitirá realizar pruebas de respuesta oportuna, disponibilidad, redundancia y baja latencia bajo una simulación de un escenario de un estado de desastre que se detalla más adelante. La red de emergencias deberá asegurar un tiempo de disponibilidad y un funcionamiento continuo bajo las diferentes circunstancias de la emergencia. La recomendación de la ETSI TR 102 022-1 específica que el tiempo o latencia de establecimiento de llamadas de voz debe ser menor a 200 milisegundos y el tiempo de establecimiento de llamadas y retardo de transmisión de datos/voz de extremo a extremo debe ser menor a 1 segundo. Las redes deben restablecerse ante diferentes tipos de fallas e incluir varios niveles de redundancia. El equipo de conmutación de la red debe ser totalmente redundante, con

conmutación distribuida geográficamente. La interconexión entre las estaciones bases también debe ser resistente e incluir líneas de respaldo entre las estaciones bases claves. Algunos sitios importantes de estaciones base de la red deben poseer sitios alternos disponibles en caso de fallo del sitio primario.

2.1 Interoperabilidad

Existe la necesidad para que las diferentes entidades que intervienen en la atención de una emergencia o desastre puedan interoperar entre sí, por ejemplo, Gestión del Riesgo, Defensa Civil, Bomberos, etc. Para ello se proponen dispositivos o estrategias que permiten la interoperabilidad entre las diferentes redes y tecnologías para que en caso de una emergencia o desastre se puedan integrar en una sola red a través de la reconfiguración de uno de los sistemas. La UIT en la Recomendación M.2015 sugiere que la utilización de bandas de frecuencias comunes permitirá a las administraciones beneficiarse de:

- Un mayor potencial para la interoperabilidad.
- Una orientación clara en materia de normalización.
- Un mayor volumen de equipos que se traduce en economías de escala, unos equipos más económicos y asequibles, y una mayor disponibilidad de equipos que beneficia, en particular, a los países en desarrollo.
- Una mejora de la gestión y la planificación del espectro.
- Una ayuda internacional más efectiva en caso de catástrofe y grandes eventos.

3. ESCENARIO DE PRUEBA

Se propone realizar la simulación de un escenario de un estado de desastre provocado por un sismo de 7 grados de magnitud en la escala de Richter, con una duración de 30 segundos, con epicentro en la ciudad de Fusagasugá y con profundidad de 100 Km, a las 10 am de un día miércoles. El primer sismo afectaría las comunicaciones Autoridad-Autoridad habituales como son: las redes celulares, telefonía fija y el internet, dejando solo las comunicaciones VHF que posee cada Autoridad. Un segundo episodio se simula con una réplica del sismo, 5.5 minutos después con 5.1 grados de magnitud y con duración de 15 segundos afectando la infraestructura donde se ubica la repetidora VHF del CRUE e impidiendo la disponibilidad de las comunicaciones de las Autoridades.

3.1 Escenario compartido

La infraestructura del hospital San Rafael ubicado en la Transversal 12#22-51 de Fusagasugá, no cuenta con las normas de sismo-resistencia, y tras el desastre, es de prioridad evacuar todo el personal del edificio. Momentos después de ocurrir el evento, la fachada del edificio denota daños

ligeros y derrumbe parcial de la estructura en un 40%, con caídas de muros y techos en pisos superiores, clasificando un grado VIII de intensidad en la escala de Mercalli. Las salidas principales se encuentran obstruidas con bloques de concreto y vidrios, dejando solo una ventana por donde las personas están evacuando. Se visualiza una salida de humo negro en la parte posterior del edificio originado en el primer piso. Todas las ventanas se encuentran rotas y hay personas atrapadas bajo escombros en la entrada del edificio e internamente 30 personas no pueden salir por obstaculización con escombros en las escaleras del 4to piso. En el último nivel del edificio colapsa el 50% del techo, se visualiza desde el exterior el daño en los últimos pisos. El edificio se encuentra sin electricidad y hay 2 personas en el 4to piso sacando las manos por una ventana pidiendo ayuda. Se visualizan 20 personas heridas conscientes y 15 inconscientes siendo atendidos por médicos y enfermeros de la clínica, todos en la intemperie. Quedan aproximadamente unas 400 personas dentro del edificio.

En desarrollo de la simulación cada Autoridad desempeñarán el rol definido en la Tabla 28.

Tabla 28. Rol de cada Autoridad

Autoridad	Rol
Gestión del riesgo	Coordinar las autoridades disponibles para realizar la evacuación, rescate y atención del hospital.
Delegación departamental de bomberos de Cundinamarca	Atender y controlar el incendio debido a la acumulación de gas propano en el área de la cocina ubicada en el primer piso del edificio, posteriormente realizar evacuación y rescate.
Cruz roja colombiana Cundinamarca	Atender y proteger las personas afectadas y heridas por el colapso de la infraestructura del hospital.
CRUE Cundinamarca	Coordinar la atención, evacuación y rescate de personas heridas.
Defensa Civil colombiana	Despejar salidas de la clínica para realizar evacuación y rescatar las personas afectadas.
Unidad Nacional de Gestión del Riesgo	Escuchar la implementación, atención y coordinación de la gestión del riesgo de desastres de las Autoridades en la simulación.

3.2 Guion de la simulación

El guion que se muestra en la Tabla 29 describe los eventos que cronológicamente sucederían en la simulación; fue de gran importancia darlo a conocer previamente a los participantes junto con la información necesaria sobre la evolución de la emergencia, de forma tal que derivara en las acciones y toma de decisiones más adecuadas a la situación en evaluación.

3.3 Evaluación de la simulación

- Velocidad de comunicación entre Autoridades: Medir el tiempo que dura una Autoridad en establecer la comunicación y/o enviar un mensaje entre el personal de la misma

Autoridad. Registrar el tiempo de los diferentes eventos del guion y cada una de las respuestas.

- Redundancia: Medir la cantidad de intentos o saltos que se necesitan para enviar un mensaje cuando cae o se apaga la repetidora VHF principal. Que tecnologías o elementos usan para reponerse de una falla de los equipos de radio.
- Interoperabilidad: Medir el tiempo requerido y las acciones necesarias para enviar un mensaje entre diferentes Autoridades.
- Disponibilidad: Medir el tiempo que dura sin servicio de comunicación las Autoridades después de iniciar la emergencia, verificar el uso de tecnología de apoyo o respaldo.

Tabla 29. Guion general de la simulación

Guion general de eventos de la simulación de un estado de desastre para validar parámetros de disponibilidad, redundancia y latencia de un diseño de un red de emergencia Autoridad-Autoridad									
Eventos	Situación	Acciones		Evaluación	Tiempos				
		Central	Autoridades		CRUE	Gestión del Riesgo	Cruz Roja	Defensa Civil	Tiempo Estimado (seg)
Evento 1	Se activa el sistema de alerta y se declara estado de desastre	Recepción de mensaje de autoridades disponibles	Enviar mensaje de disponibilidad aplicando el protocolo	Tiempos de enlace, uso del protocolo y disponibilidad					60
Evento 2	Diagnóstico del desastre	Enviar un comunicado informando el escenario	Confirman recepción del comunicado	Uso del protocolo y disponibilidad					150
Evento 3	Reporte de daños de escenario compartido	Recepción de informes de daños de cada Autoridad	Dar reporte personalizado de daños	Uso del protocolo y disponibilidad					120
Evento 4	Réplica del sismo	Realizar cambio de frecuencia redundante	Realizar, enlace a nueva frecuencia y enviar mensaje de disponibilidad	Tiempos de reacción, uso de protocolo, redundancia y disponibilidad					120
Evento 5	Dos (2) autoridades salen de la red	Se desconecta aleatoriamente dos (2) autoridades de	Las Autoridades desconectadas deben solucionar el daño asignado	Tiempos de reacción, disponibilidad					300

Guion general de eventos de la simulación de un estado de desastre para validar parámetros de disponibilidad, redundancia y latencia de un diseño de un red de emergencia Autoridad-Autoridad									
Eventos	Situación	Acciones		Evaluación	Tiempos				
		Central	Autoridades		CRUE	Gestión del Riesgo	Cruz Roja	Defensa Civil	Tiempo Estimado (seg)
		la red (falla eléctrica, falla de radio, daño de antena, daño de cable)	y posteriormente dar informe de disponibilidad	y redundancia					
Evento 6	Normalización del escenario y las comunicaciones	Envía un reporte del estado de las comunicaciones, que Autoridad esta enlazada y cual no pudo regresar	-	Disponibilidad					20
Evento 7	Reporte de rescate de cada Autoridad	Recepción de reportes	Cada autoridad da reporte personalizado de acciones realizadas	Tiempos de reacción, disponibilidad y redundancia					120
Evento 8	Fin de la simulación								

4. PREPARACIÓN, EJECUCIÓN Y EVALUACIÓN DE LA PRUEBA PILOTO

Con el apoyo de la UEGRD y el CRUE de Cundinamarca, la prueba piloto se desarrolló en tres etapas, la primera fue una planificación de las actividades, recursos y logística requeridos para la simulación. La segunda etapa fue la ejecución de la simulación con las Autoridades que previamente se habían integrado en la etapa anterior. Finalmente la tercera etapa se evaluó y analizó el resultado de la simulación por cada una de las instituciones participantes.

4.1 Preparación

Se realizaron varias actividades previas a la simulación, en particular reuniones y asesorías con el acompañamiento del Ing. William Bermúdez del CRUE de Cundinamarca y el Ing. Jaime Matiz de Gestión del Riesgo de Cundinamarca, con el fin de realizar las visitas e invitaciones a las

instalaciones de las Autoridades de la Cruz Roja, Defensa Civil de Cundinamarca, Bomberos de Cundinamarca, Socorro Nacional, Centro de Telemática de la Policía de Cundinamarca y CRUE de Bogotá. Con el apoyo del Director de la Unidad Administrativa Especial de Gestión del Riesgo de Desastres - UAEGRD el Dr. Germán Ribero Garrido, se tramitó una invitación oficial para participar en la presentación introductoria de la prueba piloto y la simulación a las entidades antes mencionadas.

La presentación preparatoria de la prueba piloto, se realizó el 18 de marzo del 2019 a las 10:00 am en las instalaciones del CRUE de Cundinamarca. En la reunión se presentó un resumen del proyecto del Trabajo de grado y la propuesta de la prueba piloto, también se entregó una carpeta con la información sobre la simulación: descripción del escenario, rol de las entidades presentes, el guion y los protocolos. En la Figura 40 se evidencia la participación de los directores del CRUE y la UAEGRD, los representantes de la Defensa Civil, Cruz Roja, Bomberos de Cundinamarca, Gestión del Riesgo de Cundinamarca, el director del Trabajo de grado el Ing. Guillermo Teuta y el estudiante de maestría y expositor el Ing. Alexander Gordillo.

La preparación de los equipos de radio y repetidoras reveló que las instalaciones del CRUE tenía habilitado un espacio para acoger el personal de las Autoridades coordinadoras de Cundinamarca en caso de un desastre. En los preparativos de la simulación y al hacer uso de los protocolos de comunicaciones se pudo identificar que los radios VHF perdían la comunicación dentro del espacio asignado para las Autoridades coordinadoras.



Figura 40. Presentación introductoria de la simulación a las Autoridades

La disponibilidad de las comunicaciones de cada Autoridad, días previos a la simulación, no tenían las configuraciones adecuadas para afrontar una integración de entidades, por lo tanto, los protocolos fueron esenciales para acondicionar los radios de todas las Autoridades de forma permanente y que puedan ser usados en un eventual estado de desastre real. Se realizó y compartió una infografía (ver Figura 41) de apoyo previo al inicio de la simulación. La infografía contiene datos relevantes sobre cómo mantener la disponibilidad de las comunicaciones ante un

fallo usando elementos de redundancia como frecuencias alternas, alternativas de generación eléctrica, tecnologías de apoyo, dispositivos técnicos y cambios de locación.

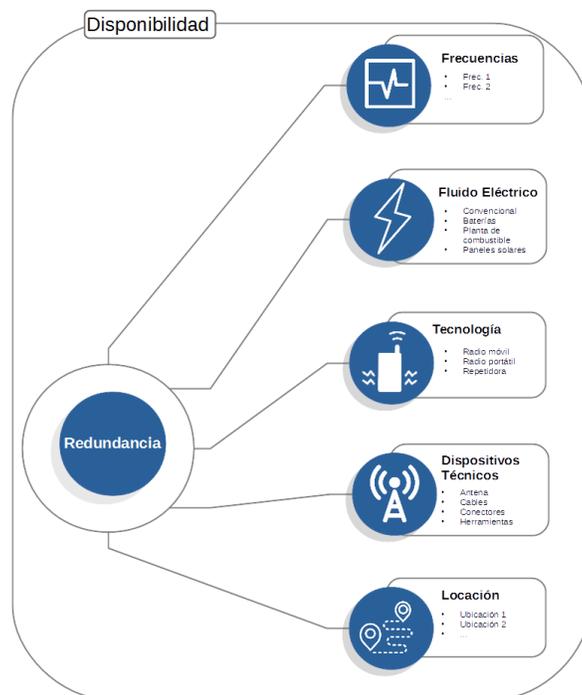


Figura 41. Infografía sobre tipos de redundancia

4.2 Ejecución

La duración de la simulación fue de 25 minutos con la participación de las siguientes Autoridades: Gestión del Riesgo de Cundinamarca, CRUE de Cundinamarca, Defensa Civil colombiana de Cundinamarca, Cruz Roja y la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo como espectador, quienes bajo un escenario de un desastre y el diseño de una red propuesta, coordinaron y dieron respuesta a las necesidades requeridas para la integración de entidades y el correcto funcionamiento de las comunicaciones VHF de emergencia disponibles actualmente.

La simulación se desarrolló en 8 eventos de acuerdo al guion de la sección 3.2. Cada evento definía pautas específicas para cada una de las Autoridades. Previamente al iniciar la simulación se referenció un evento 0, donde había normalidad en la operación de las comunicaciones. El primer evento de la simulación inició el día 20 de marzo del 2019 a las 10:02 am, cuando las Autoridades participantes: Gestión del Riesgo, Defensa Civil y Cruz Roja, realizaron el enlace correspondiente a las frecuencias asignadas con la repetidora Viga y se activó el Protocolo de Uso de la Red de Comunicaciones del CRUE y enviaron su mensaje de disponibilidad, igualmente el CRUE informó el inicio de la alerta y la declaración del estado de desastre.

El evento 2 se inició a las 10:04 am, y las acciones realizadas fueron informar sobre el sismo de 7 grados de magnitud en la escala de Richter y la descripción de las características del escenario compartido en la escala Mercalli VIII a las todas las entidades. Cada entidad confirmó la recepción del comunicado y disponibilidad. Siendo las 10:08 am se inició el tercer evento donde las autoridades, dependiendo de su rol, dieron un informe sobre los daños encontrados en el escenario común.

A las 10:09 am inició el evento 4 con la simulación de una réplica del sismo con 5.1 grados de magnitud y la caída de la repetidora Viga que estaba siendo usada como nodo principal. Como se tenía previsto, todas las autoridades se enlazaron a las frecuencias de la repetidora redundante Neusa y en menos de un minuto la primera entidad estaba reportando disponibilidad.

A las 10:13 am en el evento 5 dos Autoridades, elegidas aleatoriamente, extrayendo de una urna dos fallas que afectaban el escenario inicial. Fue así como se simuló una falla del sistema eléctrico de las instalaciones del CRUE provocando una desconexión inesperada de la entidad coordinadora de la red. Al mismo tiempo la Defensa Civil se le asignó una falla en la fuente de alimentación de su radio móvil en uso. Posterior a la desconexión de la Autoridad coordinadora, Gestión del Riesgo, tomó el control y su respectivo rol como coordinador de la atención del desastre. La Defensa Civil por su parte dio solución de redundancia técnica para mitigar la falla asignada dentro de la ventana de tiempo estimada de 5 minutos, entregando el informe de disponibilidad a las 10:15 am, Desafortunadamente el personal a cargo del CRUE no utilizó ninguna redundancia para solucionar la falla señalada y por lo tanto el CRUE solo volvió a restablecer el enlace las 10:18 am después de cerrada la ventana de tiempo de evaluación de redundancia.

El evento 6 inició a las 10:16 am, cada Autoridad reportó normalidad o restauración en sus comunicaciones. A las 10:22 am se inició el evento 7 y Gestión del riesgo como entidad coordinadora solicitó reporte de las acciones realizadas por cada Autoridad y cada autoridad dio su informe correspondiente. A las 10:27 am se inició el evento 8 dando finalización a la simulación, y cada entidad rindió su informe de cierre.

Concluida la simulación, se realizó una reunión con las entidades participantes y los invitados, entre los que se encontraban la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo, la subdivisión de conocimiento del riesgo y el MinTic que se encontraban en las instalaciones del CRUE. Cada representante compartió un informe de la experiencia y resultados visibilizados durante la actividad. Se discutieron temas de fortalecimiento de la infraestructura y la importancia de actividades asociadas con las universidades. Finalmente, el director del CRUE, el Dr. Carlos María resaltó la importancia del vínculo entidades distritales y nacionales en próximas simulaciones, y la evaluación de soluciones a las falencias en las comunicaciones de radio identificadas para cada Autoridad.

4.3 Análisis y observaciones

Posterior a la simulación, se les solicitó a las Autoridades diligenciar un formato de evaluación de la actividad (ver Anexo 7: Protocolos y Formato de Resultados para la) que incluía la validación de la aplicación de los protocolos, descripción de la solución del fallo, sugerencias y comentarios (ver Tabla 30). La Cruz Roja, aunque solo terminó el informe en un 75%, realizó una realimentación importante sobre la falta de claridad en el momento del cambio de la entidad que retoma la coordinación por la desconexión del CRUE y la interoperabilidad de las Autoridades.

Tabla 30. Consolidado de informes de simulación por parte de las Autoridades

Consolidado Informes de la Simulación por parte de las Autoridades				
Característica	Gestión del riesgo	Cruz Roja	CRUE	Defensa Civil
Informe resultados	100%	75%	100%	100%
Comentarios o sugerencias	-	<ul style="list-style-type: none"> Falto orden al momento de la solicitud de los reportes, situación que generó sobre modulación de las entidades. En el evento 5, la unidad Dtal asume el ejercicio y en el evento 6 cuando entra nuevamente el CRUE no es claro quien continúa con la coordinación. En el reporte final a la Unidad Nacional por parte de la Unidad Departamental la información de Cruz Roja no fue correcta. 	Desconocimiento de protocolo de comunicaciones, en caso de fallo de consolas de radio base	-

Con la información recolectada se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 18 respecto al cumplimiento de los protocolos y su efecto en la disponibilidad de las comunicaciones de cada Autoridad durante la simulación. El primer protocolo evaluado es el “Protocolo uso de la red de comunicaciones del CRUE” con un cumplimiento general del 96,4% por parte de las Autoridades, que reflejó el correcto funcionamiento de la interoperabilidad y la coordinación de los eventos de la simulación. El “Protocolo de simulación” permitió verificar los elementos técnicos, los procedimientos y logística previos al desarrollo de la simulación, con un cumplimiento de un 78,4%, en el cual se identificaron falencias comunes en el CRUE y Gestión del Riesgo como la falta de preparación de insumos técnicos. Con un 88,75% las Autoridades cumplieron con el “Protocolo de las comunicaciones” que permitió verificar y preparar el estado de los elementos de apoyo de los equipos de radio usados en la simulación, el cumplimiento del 25% de este protocolo generó una condición crítica al CRUE por no haber preparado herramientas de apoyo al momento de simular una falla. En síntesis, la Autoridad que preparó y empleó con mayor eficacia los

protocolos fue la Defensa Civil con un 100%, si bien, el CRUE realizó un 51,18% los protocolos, los retos de mejora identificados son transversales para todas las Autoridades.

Tabla 31. Relación de uso de los protocolos implementados en la simulación

Evaluación de los Protocolos Implementados en la Simulación					
Protocolo	% de Cumplimiento de los Protocolos por Parte de las Autoridades				
	Gestión del riesgo	Cruz Roja	CRUE	Defensa Civil	Promedio general del protocolo
Protocolo uso de la red de comunicaciones del CRUE	100%	100%	85,70%	100%	96,42%
Protocolo simulación	71%	100%	42,85%	100%	78,46%
Protocolo de las comunicaciones	80%	75%	25%	100%	70%
USO TOTAL DE LOS PROTOCOLOS	83,7%	91,66%	51,18%	100%	81,63%

En la Tabla 19 se aprecia como un conocimiento previo de los protocolos aumenta el tiempo de disponibilidad de las comunicaciones y una preparación para fallos inesperados en los equipos. La disponibilidad se analizó retirando el tiempo que estuvo desconectada cada Autoridad en el período de la simulación. La Defensa Civil reportó un conocimiento completo de los protocolos, aunque su disponibilidad fue menor que Gestión del Riesgo y la Cruz Roja, se acepta que por motivos de la desconexión por el fallo aleatorio su diferencia en tiempo es tan solo de 105 segundos en contraste de los 300 segundos de desconexión del CRUE.

Todas las Autoridades hicieron uso de por lo menos un tipo de redundancia en el transcurso de la simulación. La velocidad de comunicación entre Autoridades, relacionada con la latencia, no se vio afectada debido a que las capacidades de enlace de la repetidora VHF deben ser mayores a 1000 usuarios para apreciar algún retardo.

Tabla 32. Análisis parámetros técnicos

Parámetro Técnico	Gestión del Riesgo	Cruz Roja	CRUE	Defensa Civil
Disponibilidad	98,70%	99,34%	79,40%	91,70%
Redundancia	SI	SI	SI	SI
Latencia	<1seg	<1seg	<1seg	<1seg

El tiempo estimado para el desarrollo de cada evento del guion versus el tiempo empleado en la simulación varía dependiendo de varios aspectos: Se aumenta el tiempo empleado debido a la cantidad de información adicional generada por cada Autoridad, el tiempo es menor cuando hay una precisión en los datos de los informes y un uso riguroso del guion (ver Tabla 20). Se tenía planeado usar el registro de tiempo de los enlaces de las repetidoras que se muestra en la central de monitoreo del CRUE, pero al momento de realizar la visualización se descubrió que no se registró parte del tiempo de la simulación como se observa en el Anexo 9: Datos Registrados por la Consola de Monitoreo de Comunicaciones del CRUE Durante la Prueba Piloto, por esta razón, se realizaron otros análisis basados en el registro manual de la simulación.

Tabla 33. Contraste del tiempo estimado y empleado en las comunicaciones de la prueba piloto

Evento	Diferencia entre tiempo estimado y empleado (segundos)	Observación
Evento 1	+60 adicional	Cada Autoridad realizó el reporte de disponibilidad con más detalle que lo estipulado en el guion
Evento 2	-30 menos	Transmisión más eficiente del mensaje proporcionado en el guion
Evento 3	0	Se cumplió con lo estipulado en el guion
Evento 4	0	Se cumplió con lo estipulado en el guion
Evento 5	-180 menos	Solo la Defensa Civil logró resolver la falla en la ventana de tiempo asignada
Evento 6	+10 adicional	Reporte mucho más detallado de lo estipulado en el guion
Evento 7	+120 adicional	Cada Autoridad realizó el reporte de acciones con más detalle que lo estipulado en el guion
Evento 8	NA	

4.4 Conclusiones y recomendaciones

Teniendo en cuenta el análisis anterior, se observa una total ausencia de infraestructura de la entidad encargada de coordinar un desastre, Gestión del Riesgo de Cundinamarca, no obstante, los equipos de radio de las otras entidades cuentan con las características adecuadas en el servicio de voz, para realizar la atención y coordinación de un desastre. La simulación debió realizarse con los equipos de Gestión del Riesgo, pero al no tener una infraestructura adecuada para soportar la

integración de Autoridades, se recurrió al CRUE, quienes disponen de la infraestructura de comunicaciones y equipos tecnológicos suficientes para afrontar las necesidades de coordinación entre Autoridades de un evento de gran magnitud. Dado que en el momento de la simulación había representantes de la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo, se resalta el hecho de que ellos tomaron la coordinación de la atención de los eventos.

Como resultado del análisis de disponibilidad, en el caso de falla de los equipos de radio móvil, es pertinente para que la redundancia en la comunicación sea más inmediata por parte de las Autoridades, usar los radios portátiles, ya que pueden disminuir el tiempo en la pérdida de la comunicación mientras dan solución a la falla del radio móvil. Además, Gestión del Riesgo identificó una debilidad en la autonomía de las comunicaciones debido a que la respuesta en momentos de desastres depende de las comunicaciones del CRUE. Durante la simulación, se identificó que existe una gran debilidad en el hecho de que una sola persona coordine la toma de decisiones y esté pendiente de las comunicaciones al mismo tiempo. Se recomienda crear un kit portable de comunicaciones básico para su uso fuera de las instalaciones del CRUE y para uso de cualquier otra Autoridad.

Tomando en cuenta los casos mostrados en la infografía de la Figura 41, la evaluación de la redundancia de cada Autoridad se realizó en el evento 4 y 5. La primera fue la simulación de la caída de la repetidora principal Viga de la red de integración de Autoridades, que se subsanó con el uso la repetidora Neusa (redundancia de frecuencia y de locación) y en el evento que requirió desconectar dos Autoridades y asignar una falla de forma aleatoria, respectivamente. La primera institución en responder fue la Defensa Civil quienes dieron solución al problema asignado en la fuente de poder del radio móvil aplicando una redundancia técnica en 2 minutos. La otra institución fue el CRUE a quien se le asignó una falla eléctrica y en la ventana de tiempo asignada el personal a cargo no reportó el uso de alguna redundancia, determinando que la institución estaba fuera mando, por lo que Gestión del riesgo asumió inmediatamente la coordinación y control de la situación.

Se identificó que las diferentes Autoridades al tener un mayor conocimiento de los protocolos, pueden favorecer una mejor respuesta y superar con mayor agilidad las fallas aleatorias simuladas, por lo que se puede concluir que los protocolos son una herramienta fundamental que debe ser implementada y mejorada continuamente en cada una de las Instituciones.

Se recomienda que en simulaciones de mayor alcance se integren otras Autoridades, tales como: Unidad Nacional de Gestión del Riesgo y Desastres, CRUE de Bogotá, Bomberos de Cundinamarca y Bogotá, Socorro Nacional, Policía Nacional, Ejército Nacional, representantes de Alcaldía y Gobernación.

Finalmente, podemos concluir que se realizó con éxito la interoperabilidad de las Autoridades bajo la simulación de un estado de desastre, aplicando el diseño de la red propuesta en la sección 2, y se pudieron medir los parámetros de disponibilidad, redundancia y tiempos de respuesta de la

Autoridades. La experiencia de interacción de diversas Autoridades en un escenario común, permitió promover nuevas estrategias interinstitucionales que permitirán articular esfuerzos y recursos en un escenario de desastre real para mejorar los tiempos de respuesta, la efectividad de la coordinación y atención más eficaz a las comunidades afectadas.

Anexo 9: Datos Registrados por la Consola de Monitoreo de Comunicaciones del CRUE Durante la Prueba Piloto

Las siguientes tablas contienen los registros de tiempo realizados en la prueba piloto. La Tabla 34 muestra los tiempos empleados de cada Autoridad para la transmisión de los mensajes durante el desarrollo de la prueba piloto. Estos tiempos fueron registrados por la central de monitoreo del CRUE de Cundinamarca. La Tabla 35 muestra tiempos de respuesta empleados para contestar cada uno de los eventos por cada Autoridad.

Tabla 34. Registro de tiempo de las repetidoras

Registro de Comunicaciones de la Simulación					
Nombre	Repetidora en uso		Registro de tiempos		
	Viga	Neusa	Hora inicio	Hora fin	Duración
Base CRUE	X		09:53:13	09:53:18	00:00:05
Cruz Roja	X		09:53:18	09:53:21	00:00:03
Base CRUE	X		09:53:23	09:53:32	00:00:09
Cruz Roja	X		09:53:33	09:53:51	00:00:18
Base CRUE	X		09:53:52	09:54:09	00:00:17
Cruz Roja	X		09:54:09	09:54:18	00:00:09
Cruz Roja	X		09:54:18	09:54:22	00:00:04
Cruz Roja	X		09:54:26	09:54:31	00:00:05
Cruz Roja	X		09:54:31	09:54:36	00:00:05
Base CRUE	X		09:54:45	09:54:54	00:00:09
Defensa Civil	X		09:54:57	09:55:02	00:00:05
Base CRUE	X		09:55:03	09:55:18	00:00:15
Defensa Civil	X		09:55:19	09:55:24	00:00:05
Base CRUE	X		09:55:28	09:55:38	00:00:10
Cruz Roja	X		09:55:39	09:55:45	00:00:06
Base CRUE	X		09:55:46	09:55:57	00:00:11
Cruz Roja	X		09:55:58	09:56:03	00:00:05
Base CRUE	X		09:56:11	09:56:19	00:00:08
Cruz Roja	X		09:56:21	09:56:25	00:00:04
Base CRUE	X		10:02:40	10:02:46	00:00:06
Defensa Civil		X	10:24:05	10:24:06	00:00:01
Defensa Civil		X	10:24:07	10:24:08	00:00:01
Cruz Roja		X	10:24:10	10:24:14	00:00:04

Registro de Comunicaciones de la Simulación					
Nombre	Repetidora en uso		Registro de tiempos		
	Viga	Neusa	Hora inicio	Hora fin	Duración
Base CRUE		X	10:24:16	10:24:18	00:00:02
Defensa Civil		X	10:24:21	10:24:27	00:00:06
Defensa Civil		X	10:24:28	10:24:34	00:00:06
Defensa Civil		X	10:24:35	10:24:37	00:00:02
Base CRUE		X	10:24:39	10:24:48	00:00:09
Defensa Civil		X	10:24:50	10:24:53	00:00:03
Base CRUE		X	10:24:54	10:25:03	00:00:09
Defensa Civil		X	10:25:04	10:25:22	00:00:18
Gestión del Riesgo		X	10:25:23	10:25:41	00:00:18
Cruz Roja		X	10:25:46	10:25:49	00:00:03
Gestión del Riesgo		X	10:25:50	10:25:53	00:00:03
Cruz Roja		X	10:25:54	10:26:07	00:00:13
Cruz Roja		X	10:26:07	10:26:21	00:00:14
Gestión del Riesgo		X	10:26:21	10:26:25	00:00:04
Cruz Roja		X	10:26:26	10:26:33	00:00:07
Gestión del Riesgo		X	10:26:37	10:26:37	00:00:00
Defensa Civil		X	10:26:56	10:26:58	00:00:02
Gestión del Riesgo		X	10:27:00	10:27:05	00:00:05
Defensa Civil		X	10:27:07	10:27:20	00:00:13
Gestión del Riesgo		X	10:27:21	10:27:23	00:00:02
Defensa Civil		X	10:27:25	10:27:30	00:00:05
Defensa Civil		X	10:27:32	10:27:33	00:00:01
Defensa Civil		X	10:27:33	10:27:35	00:00:02
Defensa Civil		X	10:27:45	10:27:50	00:00:05
Defensa Civil		X	10:27:58	10:28:04	00:00:06
Gestión del Riesgo		X	10:28:07	10:28:08	00:00:01
Defensa Civil		X	10:28:16	10:28:20	00:00:04

Registro de Comunicaciones de la Simulación					
Nombre	Repetidora en uso		Registro de tiempos		
	Viga	Neusa	Hora inicio	Hora fin	Duración
Gestión del Riesgo		X	10:28:39	10:28:39	00:00:00
Gestión del Riesgo		X	10:28:40	10:28:45	00:00:05
Defensa Civil		X	10:28:48	10:29:11	00:00:23
Defensa Civil		X	10:29:23	10:29:27	00:00:04
Gestión del Riesgo		X	10:29:28	10:29:32	00:00:04
Defensa Civil		X	10:29:45	10:29:50	00:00:05
Gestión del Riesgo		X	10:29:53	10:29:55	00:00:02
Gestión del Riesgo		X	10:30:15	10:30:16	00:00:01
Gestión del Riesgo		X	10:30:26	10:30:26	00:00:00
Gestión del Riesgo		X	10:30:27	10:30:35	00:00:08
Defensa Civil		X	10:30:45	10:30:51	00:00:06
Gestión del Riesgo		X	10:30:52	10:31:00	00:00:08
Defensa Civil		X	10:31:10	10:31:10	00:00:00
Defensa Civil		X	10:31:46	10:31:47	00:00:01

Tabla 35. Seguimiento de eventos de la prueba piloto

Seguimiento de Eventos de la Simulación								
Evento	Situación	Registro de Tiempos						Observaciones
		Inicio	Gestión del riesgo	Defensa Civil	Cruz Roja	CRUE	Tiempo empleado (minutos)	
Evento 0	Comunicaciones de Autoridades operando con normalidad	09:50	NA	NA	NA	NA	NA	

Seguimiento de Eventos de la Simulación								
Evento	Situación	Registro de Tiempos						Observaciones
		Inicio	Gestión del riesgo	Defensa Civil	Cruz Roja	CRUE	Tiempo empleado (minutos)	
Evento 1	Se activa el sistema de alerta y se declara estado de desastre	10:02	10:02	10:03	10:03	10:04	02:00	
Evento 2	Diagnóstico del desastre	10:04	10:06	10:07	10:06	10:04	03:00	
Evento 3	Reporte de daños de escenario compartido	10:08	10:09	10:09	10:08	NA	02:00	
Evento 4	Replica del sismo	10:09	10:11	10:09	10:10	10:10	02:00	
Evento 5	Dos (2) autoridades salen de la red	10:13	NA	10:15 (**)	NA	10:18 (*)	02:00	El fallo aleatorio asignado a la Defensa Civil fue en la fuente de poder del radio móvil.
								El fallo aleatorio asignado al CRUE fue en el servicio de electricidad del sitio.
Evento 6	Normalización de escenario y las comunicaciones	10:16	10:16	NA	NA	NA	00:30	
Evento 7	Reporte de rescate de cada Autoridad	10:22	10:22	10:23	10:25	10:26	04:00	
Evento 8	Fin simulación	10:27						

(*): Autoridad desconectada aleatoriamente sin reporte de disponibilidad en la ventana de tiempo

(**): Autoridad desconectada aleatoriamente y tiempo de retoma de disponibilidad

NA: No aplica