



**Diagnóstico de un evento de precipitación extrema en el Valle de Aburrá,
Colombia, con énfasis en sistemas de alerta temprana.**

Daniel Vásquez Arango

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Asesores (a):

Paola Andrea Arias Gómez, PhD.

John Alejandro Martínez Agudelo, PhD.

Universidad de Antioquia

Facultad de ingeniería, Escuela Ambiental

Medellín, Colombia

2024

Cita	(Vásquez Arango, 2024)
Referencia	Vásquez Arango, D. (2024). Diagnóstico de un evento de precipitación extrema en el Valle de Aburrá, Colombia, con énfasis en sistemas de alerta temprana. [Trabajo de Grado]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia..
Estilo APA 7 (2020)	



Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental – GIGA



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI).

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Agradecimientos

Este Trabajo de Grado fue apoyado por la Universidad de Antioquia y financiado por Minciencias, mediante el Programa SOS Cuenca 80740-490-2020.

Agradezco enormemente a mis asesores Paola Andrea Arias Gómez y John Alejandro Martínez Agudelo, quienes con su conocimiento, apoyo e interminable paciencia y comprensión fueron fundamentales para realizar este trabajo.

Agradezco de sobremanera a mi madre, quien ha sido un pilar fundamental a lo largo de toda mi carrera, brindándome un apoyo incondicional. Asimismo, agradezco a mis demás familiares y amigos que, durante este proceso, me han brindado su constante apoyo y motivación para seguir adelante. Por último, agradezco a mi pareja y a mi hija, quien está en camino, ya que han representado un gran impulso y motivación para finalizar este trabajo.

Contenido

AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	6
ABSTRACT	6
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
MARCO TEÓRICO	9
CAPÍTULO 1	10
CARACTERIZACIÓN DEL EVENTO DE ESTUDIO	10
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EVENTO	10
1.2 REPORTE HIDROMETEOROLÓGICO DE SIATA	10
1.3 INFORME DE LA UNIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (UNGRD)	15
1.4 PRONÓSTICO DE IDEAM	16
CAPÍTULO 2	19
SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA EN OTROS PAÍSES	19
2.1 ESTADOS UNIDOS.....	19
2.1.1 Estructura del sistema de alerta temprana de EEUU.....	19
2.1.2 Servicios de pronósticos y funciones por agencia	20
2.1.3 Emisión de pronósticos y alertas.....	21
2.2 INDIA	2
2.2.1 HISTORIA	2
2.2.2. ESTRUCTURA	2
2.2.3 SERVICIOS DE PRONÓSTICO.....	3
2.2.3.1 Pronóstico de lluvias intensas	1
2.2.3.2 Alertas y emisión de pronósticos	3
2.2.4. Comunicación y canales de transmisión	4
CAPÍTULO 3	6
SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA EN COLOMBIA	6
3. GENERALIDADES.....	6
3.1. SISTEMAS DE ALERTA EN COLOMBIA	7
3.1.1. Sistema de alerta temprana del distrito local de Bogotá	8
3.1.2. Sistema de alerta temprana para la cuenca del río Combeima	9
3.1.3. Sistema de Alerta Temprana (SIATA).....	9
3.2 SISTEMA DE PRONÓSTICO IDEAM	10
3.3 SISTEMA NACIONAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (SNGRD)	13
CAPÍTULO 4	15
RECOMENDACIONES PARA EL SISTEMA DE COLOMBIA	15
COMENTARIOS FINALES	17

REFERENCIAS 18

Resumen

La población colombiana, en general, se encuentra ubicada en una región donde la influencia de diversos fenómenos climáticos provoca fuertes eventos hidrometeorológicos, especialmente durante la temporada de lluvias. Estos fenómenos causan estragos, considerables pérdidas económicas y, lamentablemente, pérdidas de vidas humanas. Este Trabajo de Grado analiza un evento ocurrido en enero de 2023 en el Valle de Aburrá, cuando, desafortunadamente dos personas fallecieron en una inundación asociada a un evento extremo de precipitación, dejando en evidencia las deficiencias en la gestión del riesgo en el país, especialmente en Medellín, a pesar de contar con uno de los sistemas de alerta temprana más avanzados del país. Posteriormente, se realiza una revisión bibliográfica sobre los sistemas de alerta temprana de India y Estados Unidos, y se compara con el de Colombia. India y Estados Unidos son países pioneros en el tema y cuentan con dos de los mejores sistemas de alerta del mundo. Esto con el fin de realizar una comparativa con el sistema de alerta de Colombia y así identificar debilidades y proponer recomendaciones para la mejora de este.

Palabras clave: Sistemas de alerta temprana, eventos hidrometeorológicos, fenómenos climáticos, precipitación.

Abstract

The Colombian population, overall, resides in a region where the influence of various climatic phenomena triggers strong hydrometeorological events, especially during the rainy season. These phenomena cause havoc, substantial economic losses, and, regrettably, human casualties. This Thesis analyzes an event that occurred in January 2023 in the Valle de Aburrá, when, unfortunately, two individuals perished in a flood associated with an extreme precipitation event, exposing deficiencies in risk management in the country, particularly in Medellín, despite having one of the most advanced early warning systems in the country. Subsequently, a literature review is conducted on the early warning systems of India and the United States and compared with that of Colombia. India and the United States are pioneering countries in this field and possess two of the best alert systems globally. The aim is to make a comparison with Colombia's alert system to identify weaknesses and propose recommendations for its enhancement.

Key Words: Early warning systems, hydrometeorological events, climatic phenomena, precipitation.

Introducción

El Valle de Aburrá está ubicado en la zona noroccidental de la cordillera central de los Andes colombianos. Es una subregión del departamento de Antioquia que cuenta con 10 municipios, tiene una extensión de 1.165,5 km², y presenta una topografía bastante irregular y pendiente, que oscila entre 1.300 y 2.800 msnm. A lo largo de los años, debido a la forma en que se han dado los asentamientos de la población, se ha venido presentado una problemática en cuanto a los impactos generados cada vez que hay eventos fuertes de precipitación, ya que se han registrado grandes pérdidas económicas y humanas, debido a la ocurrencia de movimientos en masa o inundaciones. Este es el caso del deprimido de la Avenida Regional, ubicado en el sector de Conquistadores, donde ya en 1988 murieron 3 músicos ahogados.

El 14 de enero de 2023 se presentó un evento extremo de precipitación en el Valle de Aburrá, el cual desencadenó una gran cantidad de afectaciones, que además de incluir daños sobre estructuras y ocurrencia de inundaciones, provocaron la pérdida de dos vidas humanas. Dicho incidente superó la capacidad de las entidades administrativas de la ciudad de Medellín para responder ante este tipo de sucesos.

La respuesta eficaz y oportuna frente a los eventos hidrometeorológicos extremos es de clara urgencia, ya que con esto se puede minimizar el impacto sobre la vida y la propiedad de la población afectada. En este contexto, emergen los sistemas de alerta temprana, los cuales desempeñan un papel crucial ya que proporcionan información que puede ayudar a la anticipación y toma de medidas ante la ocurrencia de algún evento extremos, sin embargo, la efectividad de estos sistemas varía según el país o región y es por esto que es imperativo evaluar el desempeño de los mismos y buscar su continua mejora.

India y Estados Unidos han desarrollado grandes sistemas de alerta temprana, robustos, articulados y descentralizados, que hoy en día son ejemplo para el resto del mundo, destacando principalmente el de India, que es pionero en el tema.

Este Trabajo de Grado tiene como objetivo analizar en detalle el evento mencionado que tuvo lugar en Medellín, Colombia, el 14 de enero de 2023. Además, busca llevar a cabo un estudio exhaustivo de los sistemas de alerta de Estados Unidos e India, con el fin de realizar una comparativa con el sistema de alerta temprana de Colombia. El propósito final es identificar posibles mejoras y estrategias que puedan implementarse en el sistema colombiano.

El enfoque principal de este Trabajo de Grado es evaluar todas las características de los sistemas de alerta temprana de India y Estados Unidos. A partir de las ventajas identificadas en estos sistemas, se plantean recomendaciones concretas para fortalecer el sistema de alerta de Colombia. El objetivo subyacente es reducir la vulnerabilidad de la población ante futuros eventos climáticos extremos.

Como resultado, se identifica una amplia gama de prácticas y técnicas utilizadas en los sistemas de alerta de Estados Unidos e India que podrían ser implementadas en el sistema de Colombia. Simultáneamente, se identificaron diversas deficiencias en el sistema colombiano. Es evidente que estas dificultades o sistemas de alerta precarios en algunas regiones han contribuido a que eventos de gran magnitud en el país hayan tenido consecuencias catastróficas debido a la falta de preparación y anticipación cuando se producen.

La tragedia ocurrida en Medellín en enero de 2023 es un recordatorio de que la prevención y la preparación son esenciales para proteger vidas y propiedades en un mundo cada vez más afectado por la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos, en parte debido al cambio climático.

Objetivo general

Realizar una revisión de literatura sobre sistemas de alerta temprana, en particular, contrastando con el sistema de alerta temprana de Colombia y así evaluar su funcionamiento con especial enfoque en un evento ocurrido el 14 de enero de 2023 en Medellín, Colombia.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar el evento de precipitación extrema ocurrido el 14 de enero de 2023 en el Valle de Aburrá, Colombia.
2. Realizar una revisión bibliográfica de los sistemas de alerta temprana de India y Estados Unidos, para identificar todas las fortalezas que tienen debido a sus grandes avances.
3. Investigar el sistema de alerta temprana de Colombia, en pro de realizar una comparativa con los sistemas de India y Estados Unidos y así proponer mejoras para este.

Marco teórico

En los Andes colombianos, la precipitación presenta un comportamiento bimodal, con dos temporadas secas, una finalizando y comenzando el año (diciembre a febrero) y otra a mediados de año (junio a agosto), y dos temporadas de lluvias que se presentan entre marzo a mayo y septiembre a noviembre. (SIATA 2023).

Este valle está ubicado en la zona noroccidental de la cordillera central de los Andes colombianos. Su topografía asociada a las cordilleras que lo encierran provoca la formación de diversos microclimas (AMVA, 2023). Este valle pertenece a una zona tropical en la que las temporadas de lluvias están condicionadas por el paso de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y una gran cantidad de procesos atmosféricos que, asociados a la topografía de la zona, hacen que el pronóstico de la precipitación sea complejo (SIATA 2023). Realizando una revisión de varios trabajos se encuentra que entre los factores que afectan la precipitación en Colombia, específicamente en el Valle de Aburrá, se encuentran el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO por sus iniciales en inglés) (Poveda y Mesa, 1996; Poveda, 2004), la oscilación de Madden – Julian (Poveda et al., 2002; Arias, 2005), las ondas del este (Giraldo-Cárdenas et al., 2022), el chorro del Chocó (Poveda y Mesa, 1998, 2000), el chorro del Orinoco (Builes-Jaramillo et al., 2022), entre otros, además de factores geográficos locales (Poveda et al., 2002).

Todos estos factores e interacciones propician una gran variedad de eventos de lluvia que, en ocasiones, dependiendo su intensidad y duración, pueden desencadenar en eventos que afecten las vidas humanas, ya sea por movimientos en masa o inundaciones. Es por esto que se hace necesario tener una mayor comprensión de las condiciones atmosféricas asociadas a la ocurrencia de eventos extremos de precipitación y una mejor capacidad de pronóstico que permita una gestión de riesgo adecuada y de esta forma minimizar la posibilidad de tener pérdidas tanto humanas como materiales. En particular, es conocido que en el Valle de Aburrá, a lo largo de muchos años, han ocurrido una gran cantidad de tragedias asociadas a la ocurrencia de eventos extremos de precipitación que han sobrepasado la capacidad de reacción de las entidades correspondientes, generando las pérdidas tanto económicas como humanas (Coupé, 2011). En este contexto es donde surge la importancia de la implementación de los sistemas de alerta (SAT), ya que una buena implementación de estos, ayuda a la mitigación de los impactos de eventos meteorológicos fuertes, derivados del cambio climático, siendo un eje principal de la gestión del riesgo (López et al., 2017), pues se ha demostrado que contribuyen de gran manera a la disminución de pérdidas económicas y a evitar la pérdida de vidas humanas (Ocharan, 2007; Lenton, 2011)

Capítulo 1

Caracterización del evento de estudio

Este capítulo busca hacer una descripción general del evento de precipitación ocurrido en el Valle de Aburrá el día 14 de enero de 2023, a partir de la información emitida por diferentes fuentes oficiales de monitoreo y diversas entidades encargadas de la gestión del riesgo de desastres en la región.

1.1 Descripción general del evento

Durante la tarde del 14 de enero de 2023, se presentaron fuertes precipitaciones acompañadas de vientos con velocidades altas en varias zonas del Valle de Aburrá. El evento comenzó a las 03:00 pm y alcanzó su mayor intensidad aproximadamente a las 06:30 pm. Este evento fue catalogado como de gran magnitud debido a que tanto las precipitaciones como los vientos observados superaron valores históricos en varias zonas de la ciudad. Esto desencadenó la ocurrencia de diversos impactos como inundaciones, pequeños deslizamientos, caídas de infraestructura y árboles, e incluso pérdida de vidas humanas. Las entidades de la ciudad se vieron, por ciertos momentos, rebasadas para atender las emergencias presentadas. Es por esto que el evento se hace de interés de estudio, debido a que conocerlo y estudiarlo podría ayudar a generar una mejor forma de respuesta ante eventos futuros de similar magnitud.

1.2 Reporte hidrometeorológico de SIATA

Según reportes del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA), para el día sábado 14 de enero de 2023, se dio la formación de un núcleo convectivo al sureste del valle. Las nubes cubrieron más del 90% del Valle de Aburrá y para este día se reportaron las temperaturas más altas de la semana, como se observa en la Figura 1, obtenida del reporte hidrometeorológico (SIATA 2023). Esto podría relacionarse con la presencia de energía potencial convectiva disponible (CAPE, por sus iniciales en inglés), un indicador o factor asociado a la generación de este tipo de tormentas o eventos de precipitación de gran magnitud.

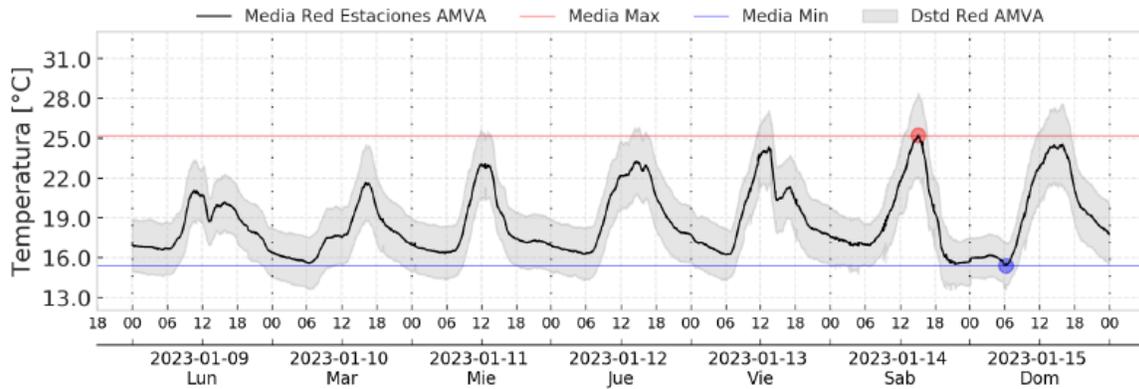


Figura 1. Temperatura promedio en la red de estaciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). El punto rojo indica la temperatura más alta de la semana y el punto azul indica la temperatura más baja. Fuente: [HIDROMET_20230109_20230115.pdf \(siata.gov.co\)](https://siata.gov.co/HIDROMET_20230109_20230115.pdf)

Entre los indicadores que llevaron a considerar este evento como de gran magnitud, se tiene que entre los datos provenientes del SIATA, algunas estaciones que presentaron crecientes, superaron el percentil 95 y otra el percentil 100, lo que muestra que los valores obtenidos superaron el 95% y el 100% de los eventos sucedidos hasta la fecha, respectivamente. En la Figura 2 se indican las estaciones con los valores obtenidos, donde se puede ver que las estaciones Quebrada La Cantera y El Deprimido de los Músicos fueron las que presentaron mayor riesgo por inundación, siendo esta última una de las más afectadas y con peores desenlaces en cuanto a impactos en la zona.

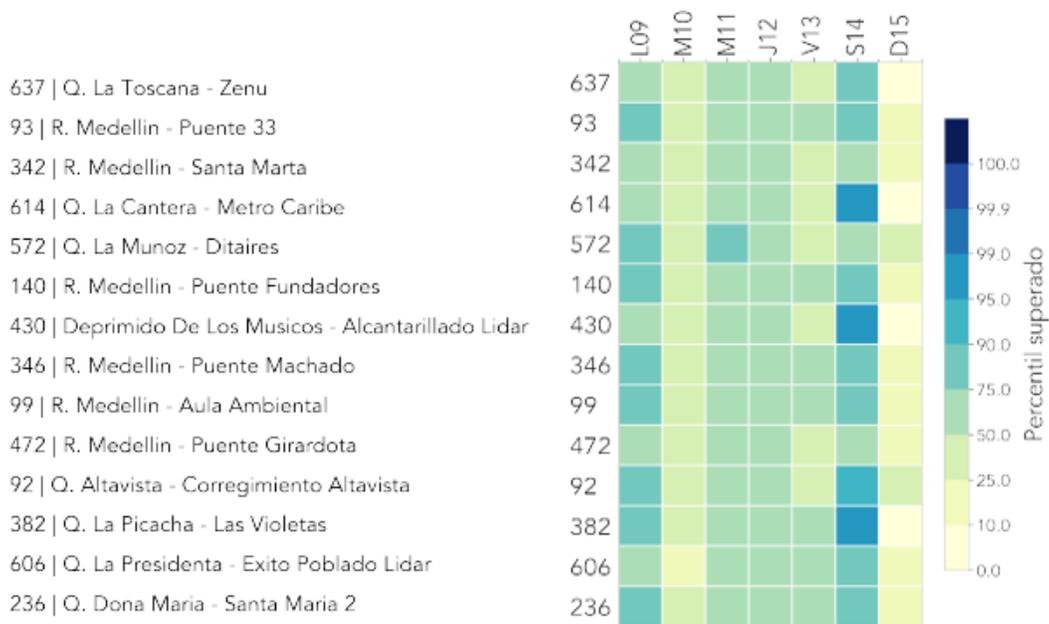


Figura 2. Percentil superado por el acumulado diario de la precipitación promedio de radar en las subcuencas de los cauces de diferentes quebradas y ríos. Fuente: [HIDROMET_20230109_20230115.pdf \(siata.gov.co\)](https://siata.gov.co/HIDROMET_20230109_20230115.pdf)

En la Figura 3 se presentan los acumulados de precipitación obtenidos a las 10:10 pm, según los registros del radar de SIATA. En algunas zonas, las estaciones registraron valores de 87 mm. El evento, en general, fue de gran magnitud debido a que muchos parámetros superaron valores históricos de eventos con características similares. Uno de los puntos álgidos, como ya se había mencionado, se presentó en el sector conocido como El Deprimido de los Músicos, que fue uno de los lugares que superaron el percentil 95. La Figura 4 muestra que esta zona presentó niveles altos de riesgo, debido al desbordamiento y los altos niveles de inundación obtenidos allí, los cuales lograron un pico máximo aproximadamente a las 07:30 pm, hora en la que lastimosamente dos personas perdieron la vida. Realizando un análisis de la sección transversal, se puede resaltar cómo se alcanzaron niveles altos de riesgo, cuando comienza a considerarse incluso la evacuación de la población de la zona.

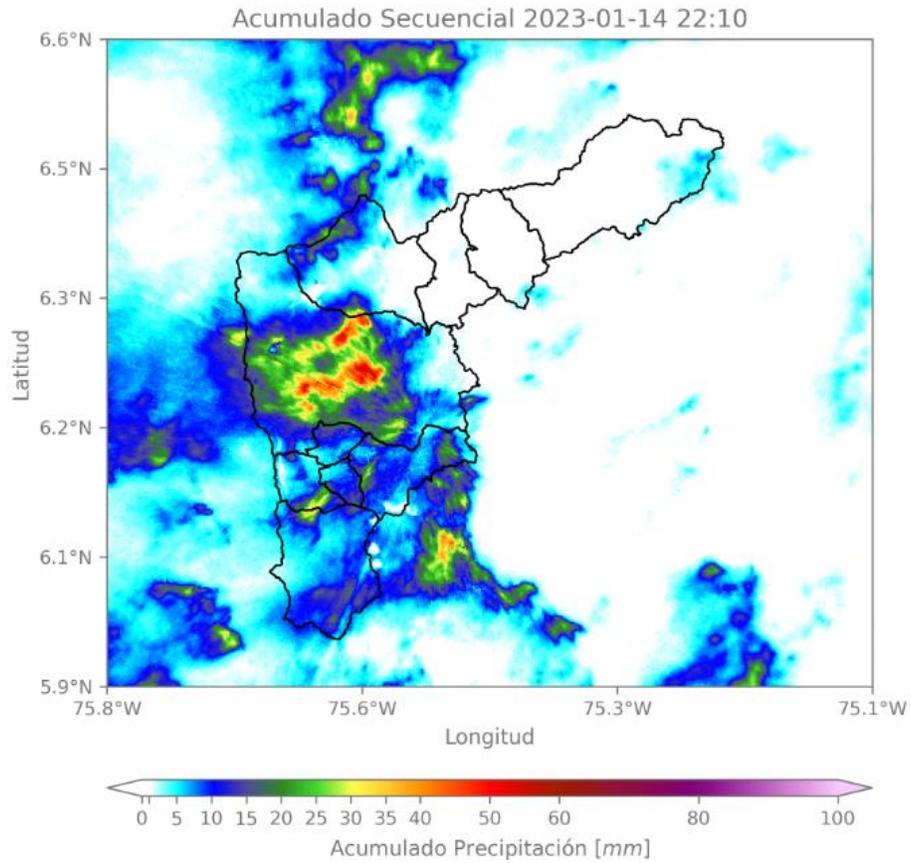


Figura 3. Acumulado de precipitación en el Valle de Aburrá para el 14 de enero de 2023, a las 10:10 pm, luego de la ocurrencia del evento. Fuente: [202301141500_202301142240.qif \(2312x1529\) \(siata.gov.co\)](#)

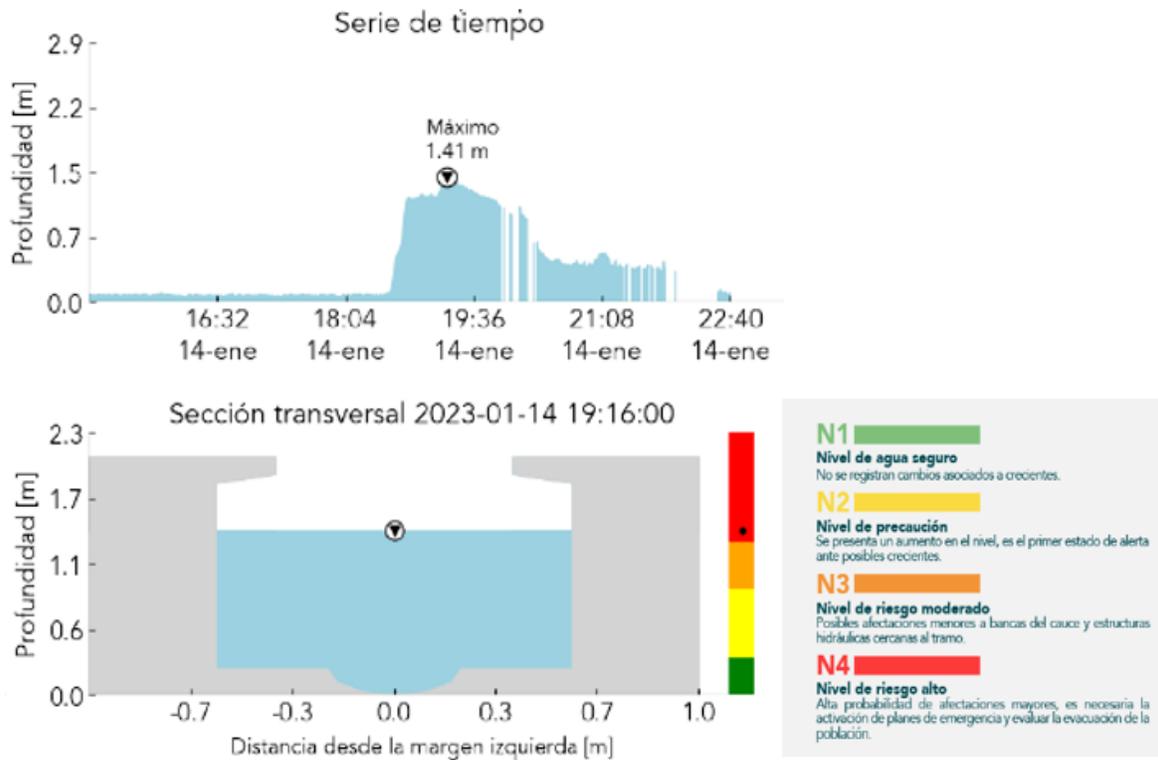


Figura 4. Serie de tiempo de niveles de inundación en la zona del Deprimido de los Músicos y niveles de riesgo obtenidos durante el evento según el nivel de inundación. Fuente: [HIDROMET 20230109_20230115.pdf \(siata.gov.co\)](#)

La velocidad de los vientos fue otra variable que presentó valores de gran magnitud. La estación AMVA registró valores históricos con una velocidad máxima instantánea de 65.52 km/h, que superó el percentil 95 histórico de la estación. En otras zonas se registraron vientos de más de 74 km/h, los cuales dejaron destrozos a su paso.

Es de resaltar, para dimensionar la magnitud del evento, que, en la semana del 9 al 15 de enero, correspondiente a la semana del evento en cuestión, se registraron 368 descargas eléctricas, de las cuales 346 se presentaron durante el día del evento.

Todo este conglomerado de variables que arrojaron valores históricos en los percentiles más altos configuraron un evento como pocos ocurridos en el Valle de Aburrá, derivando en caos, tragedias y accidentes, ya que en conjunto, todo esto ocasionó una gran cantidad de problemas en varias zonas de la ciudad de Medellín, como inundaciones, caída de árboles e infraestructura de los alumbrados navideños, entre otros, que llevaron a que las entidades administrativas de la ciudad se vieran superadas en algunas zonas para atender la emergencia generada.

Esta es la información que se tiene en cuanto a parámetros y variables hidrometeorológicas sobre el evento como tal, pero es importante dar detalle sobre las consecuencias identificadas en el Valle de Aburrá, principalmente en la ciudad de Medellín, donde, como ya se mencionó anteriormente, las entidades administrativas por momentos se vieron rebasadas para poder dar la debida atención a lo que se estaba presentando. Durante la tarde y noche del 14 de enero, de acuerdo al reporte del SIATA, se activaron 8 veces las sirenas de alerta por inundación en las comunidades asociadas al sistema de alertas tempranas comunitarias (SATC).

1.3 Informe de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD)

Según reportes de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), debido a una creciente súbita en la región de influencia del evento, 5 familias se vieron afectadas, dando un total de 25 personas damnificadas, ya que 5 viviendas resultaron averiadas y 1 alcantarillado afectado. En el sector de Parques del Río, en la ciudad de Medellín, se presentó el colapso de una estructura de alumbrados navideños, derivado de los fuertes vientos que registraron velocidades en esta zona de más de 100 Km/hr, lo que ocasionó que 26 personas resultaran lesionadas y debieran ser remitidas a centros asistenciales. Cerca de La Minorista también se reportó afectaciones de líneas primarias de energía y resultó perjudicado el sistema Metroplús en ambos sentidos. Por último, el suceso más trágico se presentó en el sector de Conquistadores, más específicamente en el deprimido conocido como el Deprimido de los Músicos, donde en 1988, tres músicos de la ciudad que se transportaban en un taxi, quedaron atrapados allí y perdieron la vida, dando este nombre a dicho deprimido. Para el día del evento del 14 de enero, cuando las precipitaciones estaban disminuyendo, se reportó la presencia de un vehículo represado en dicho lugar, como se observa en la Imagen 1, y al realizar las inspecciones correspondientes, se conoció la lamentable noticia de que los dos ocupantes del vehículo habían perdido la vida por inmersión.



Imagen 1. Fotografía del suceso ocurrido en el Deprimido de los Músicos, el día 14 de enero de 2023. Fuente: <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/medellin-la-tragedia-que-le-dio-nombre-al-deprimido-de-los-musicos-733926>

1.4 Pronóstico de IDEAM

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) había emitido una alerta roja con anterioridad para ciertas zonas del país. El boletín fue emitido en el informe técnico diario, a las 12:30 de la tarde pm del 14 de enero de 2023, debido a la presencia de condiciones meteorológicas que favorecerían la ocurrencia de precipitaciones fuertes que podrían desencadenar deslizamientos u otros fenómenos derivados de este tipo de eventos. En la Figura 5 se observa el pronóstico emitido por el IDEAM, en el boletín de condiciones hidrometeorológicas para el 14 de enero, donde se estimaban lluvias fuertes sobre la zona occidental del país, específicamente sobre los departamentos de Chocó, Valle del Cauca, Nariño, Cauca, Antioquia, Eje Cafetero, centro y occidente del Cundinamarca, oriente del Tolima, norte de Huila, piedemonte de Caquetá, Putumayo, y sur de los departamentos de Córdoba, Sucre y Bolívar (IDEAM 2023).

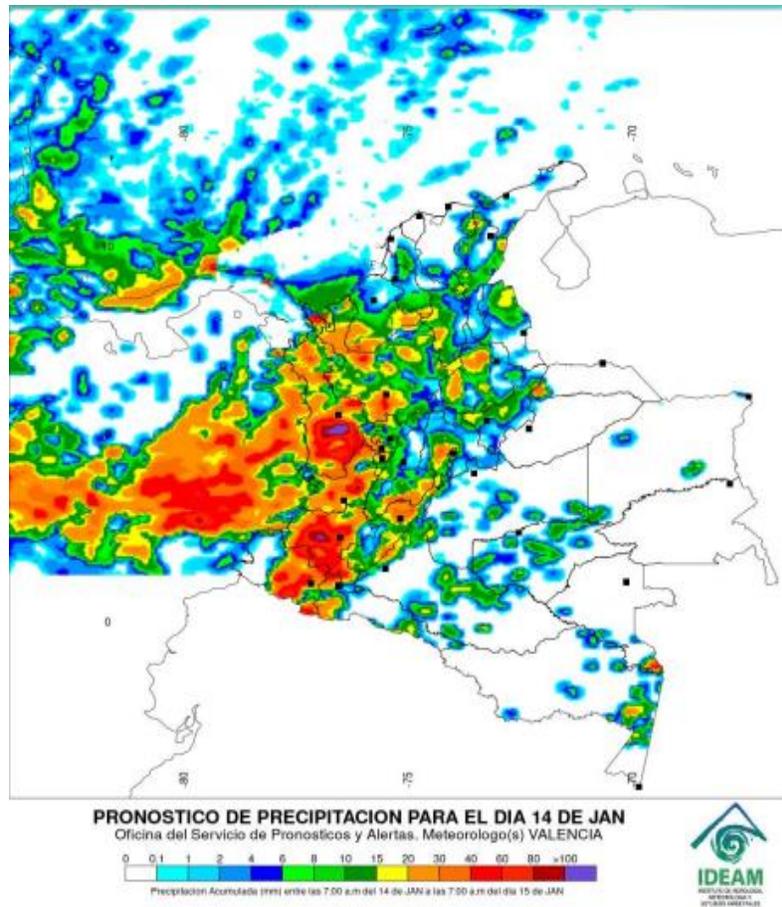


Figura 5. Pronóstico de precipitación acumulada entre las 7:00 am del 14 de enero y las 7:00 am del 15 de enero de 2023. Fuente: http://www.pronosticosyalertas.gov.co/documents/78690/125406685/014_IDA_EN_ERO_14_2023.pdf/59e062f4-e0da-4e0a-b496-5f38217227c0?version=1.0

En el boletín de alertas hidrológicas, también emitido por el IDEAM, el 14 de enero de 2023 a las 12:00 pm, se daba una alerta naranja sobre la Cuenca Alta del río Porce y se daba aviso sobre posibles crecientes en varias zonas de Medellín. En la Figura 6, se observa la zona en alerta y la descripción de la misma.



Figura 6. Área hidrográfica de la cuenca Magdalena-Cauca con los niveles de alerta emitidos en la zona de la Cuenca Alta del río Porce, según el boletín número 14 del 14 de enero de 2023 del IDEAM. Fuente: http://www.pronosticosyalertas.gov.co/documents/78690/125406685/014_IDA_EN_ERO_14_2023.pdf/59e062f4-e0da-4e0a-b496-5f38217227c0?version=1.0

Capítulo 2

Sistemas de alerta temprana en otros países

Este capítulo busca hacer una revisión de la organización y el funcionamiento de los sistemas de alertas tempranas que operan en dos países referentes en estos temas: Estados Unidos e India.

2.1 Estados Unidos

Estados Unidos (EEUU) es uno de los países del Norte Global, considerado como uno de los más desarrollados del mundo en cuanto a economía, tecnología, entre otras. Sin embargo, su ubicación geográfica le genera también una problemática en cuanto a fenómenos atmosféricos, ya que cuenta con temporadas climáticas muy marcadas y, a su vez, se enfrenta ante desastres climáticos y meteorológicos, entre los que se encuentran la ocurrencia de huracanes, tornados, olas de calor e inundaciones. Según información suministrada por el sitio oficial de la Administración Nacional de Océanos y Atmósfera (NOAA por sus siglas en inglés), EEUU, cada año experimenta, en promedio, 10.000 tormentas eléctricas, 5.000 inundaciones, 1.300 tornados y 2 huracanes. Es por esto que, desde ya hace varios años, el país viene desarrollando un sistema de alerta integral, que permita estar lo más preparado posible ante estos desastres y, a su vez, poder tener una capacidad de respuesta rápida, que permita minimizar tanto pérdidas económicas como humanas.

2.1.1 Estructura del sistema de alerta temprana de EEUU

EEUU cuenta con una variedad de agencias y oficinas, cada una encargada de una función en particular y así, en conjunto, conforman un sistema bastante elaborado, encargado de dar alerta ante posibles desastres y a su vez de atender antes, durante y después de que ocurren los eventos. La agencia principal que encabeza el sistema es la NOAA. Esta agencia se encarga de coordinar todas las demás; es la encargada de monitorear, realizar y enviar pronósticos, pero todas estas labores las delega en otras agencias y es aquí donde el sistema se vuelve más elaborado, ya que la delegación de funciones en otras agencias permite que sea un sistema más eficaz con una mayor cantidad de oficinas realizando actividades en particular, de forma más detallada y enfocada.

De la NOAA se desprende el Servicio Meteorológico Nacional (NWS por sus siglas en inglés), el cual delega sus funciones en una gran variedad de sedes, centros y oficinas tanto locales como regionales. De estos centros se destaca el Centro Nacional para el Pronóstico Ambiental (NCEP por sus siglas en inglés), el cual divide sus funciones o investigaciones en 9 centros especializados. De forma paralela

existen 6 sedes regionales distribuidas por todo el país y más de 120 oficinas locales de pronóstico del tiempo (WFO por sus siglas en inglés). Adicionalmente existe una agencia nacional, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA por sus siglas en inglés), encargada, como su nombre lo indica, del manejo de desastres y emergencias cuando suceden tragedias, y también encargada de la coordinación y emisión de alertas tempranas al momento de cualquier suceso climatológico o meteorológico de importancia que pueda afectar alguna zona del país. Toda la información sobre la estructura ha sido extraída de la página oficial de la NOAA: <https://www.noaa.gov/>.

2.1.2 Servicios de pronósticos y funciones por agencia

Los pronósticos son realizados por parte del NWS, que corresponde al principal encargado de realizar los pronósticos climáticos y meteorológicos; asimismo de emitir alertas. De igual manera que la NOAA, el NWS delega muchas de sus funciones en otras oficinas, de forma que cada pronóstico o alerta sea más específico. Es por esto que el sistema nacional cuenta con centros regionales y oficinas locales que permiten que se enfoquen en zonas en particular y así poder obtener mejores resultados al momento de emitir pronósticos y alertas. Se destaca la existencia del Centro Nacional para el Pronóstico Ambiental (NCEP por sus siglas en inglés), que hace parte igualmente de NWS y se divide en 9 centros de predicción ambiental, de los cuales hay 4 que se destacan en el tema de pronósticos climáticos y meteorológicos: Centro de Predicción Climática (CPC por sus siglas en inglés), Centro Nacional de Huracanes (NHC por sus siglas en inglés), Centro de Pronóstico de Tormentas (SPC por sus siglas en inglés) y Centro de Pronóstico Meteorológico (WPC por sus siglas en inglés). (NCEP 2023). A su vez, todas las agencias se encargan de emitir alertas y de forma paralela con la FEMA, que es la encargada de emitir alertas a nivel nacional con ayuda de los informes de la NOAA, para que de esta forma se cuente con un sistema integral que posibilite tener la mejor preparación y respuesta ante posibles desastres. La FEMA corresponde a la parte final del sistema, siendo la agencia encargada de otorgar ayuda económica y humanitaria ante los desastres ocurridos en el país (FEMA 2023), así se establece en su sitio web: <https://www.fema.gov/es/about>.

Todo este conglomerado de centros, agencias y oficinas hacen del sistema de alerta temprana de EEUU uno de los más desarrollados del mundo, pero que día a día sigue buscando la mejora y actualización de sus sistemas, ya que, aun teniendo un sistema tan desarrollado, el país se ha visto fuertemente azotado por algunos huracanes y otros fenómenos atmosféricos, cuyas afectaciones no se han podido prevenir por completo, así como tampoco ha sido posible gestionar de forma completamente eficaz la respuesta ante ellos. En la Figura 7 se presenta un organigrama sobre el sistema de alerta temprana de EEUU, de una forma más detallada.

2.1.3 Emisión de pronósticos y alertas

La emisión de pronósticos se realiza generalmente de forma diaria cada 6 horas desde las 05:00 AM hasta las 11:00 PM, dando un total de 4 pronósticos al día, además de otros pronósticos que se realizan para un mayor rango de tiempo, que van desde escalas temporales mensuales, hasta horarias, emitiéndose algunos para las siguientes 12, 24, 36 y 48 horas. En las páginas web oficiales de los servicios de pronóstico de EEUU (<https://www.weather.gov/>, <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/> y <https://water.weather.gov/precip/>), se encuentran mapas interactivos que se actualizan a varias horas del día, donde se pueden observar todas las alertas o el comportamiento de las variables climáticas en cualquier zona del país.

En cuanto al tema de inundaciones, en su página web <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/nationalfloodoutlook/>, cuentan con la perspectiva de inundaciones significativas, con lo cual emiten mapas con hasta 5 días de anticipación, donde se pueden identificar áreas en las que es posible, probable o inminente una inundación significativa. Para esto utilizan hasta 120 horas de precipitación pronosticada, según el sitio oficial del NWS.

Para el tema de alertas, entre sus herramientas, EEUU maneja varios productos gráficos interactivos, entre los que se puede destacar el cono de incertidumbre, utilizado ante la ocurrencia de huracanes. Este es un cono representado en un mapa, que muestra el posible movimiento del huracán y esto permite que las personas puedan indagar cuál será el paso del fenómeno y posiblemente alejarse del sitio o dirigirse hacia allí por error. En la Figura 8 se muestra una representación de este cono.

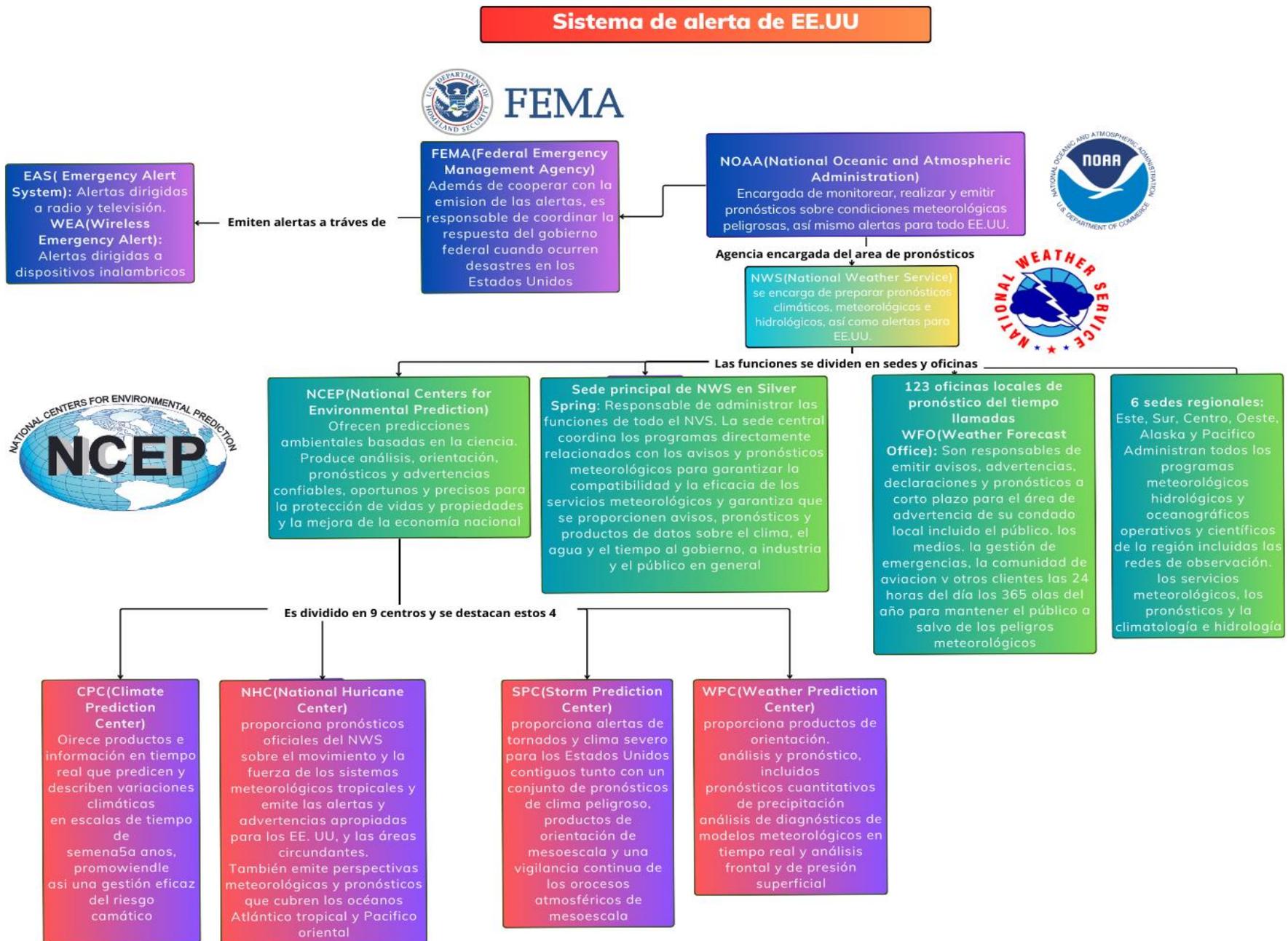


Figura 7. Organigramma del sistema de alerta temprana de EE.UU

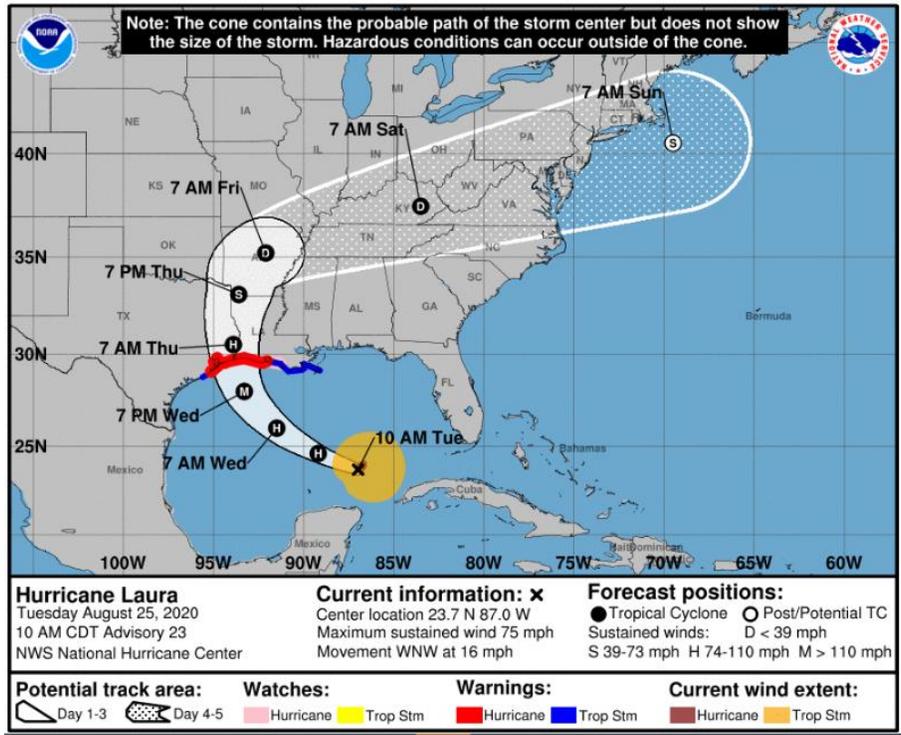


Figura 8. Gráfico del cono de trayectoria posible de una tormenta. Fuente: https://www.nhc.noaa.gov/cone_usage.php

En el país se manejan varios tipos de alertas. Es importante resaltar que se da uso a dos términos, dependiendo en qué punto se encuentre el fenómeno del que se dará alerta: vigilancia y aviso. Existe vigilancia de huracanes, de tormenta tropical, de inundaciones y de tornado. Por lo general, este anuncio se emite cuando existe la posibilidad de que alguno de estos fenómenos suceda en la zona en la que se emite dentro de las próximas 48 horas. Cuando se habla de aviso es porque el fenómeno ya está a punto de ocurrir y se deben tomar todas las medidas de seguridad correspondientes.

Para la emisión de las alertas, cuentan entre uno de muchos recursos con una estación de radio llamada Radio NOAA, en la cual se emiten los pronósticos y se publican todas las alertas necesarias, además de utilizar las redes sociales como Facebook, X (antes Twitter) e Instagram para publicar igualmente los pronósticos o cualquier alerta que deban emitir. La FEMA como ya se había mencionado, es la encargada también de la parte de emisión de alertas, cuando se trata de fenómenos grandes o eventos que puedan desencadenar en tragedias. Para ello, tiene un Sistema de Alerta de Emergencia (EAS por sus siglas en inglés), con el cual se pueden dirigir a la televisión y la radio nacional en el momento que sea necesario. Además, cuentan con las Alertas Inalámbricas de Emergencia (WEA por sus siglas en inglés), con las cuales pueden emitir mensajes de texto para todos los

dispositivos celulares de la nación, dando aviso de cualquier peligro inminente que pueda afectar el país (FEMA 2023).

2.2 India

2.2.1 Historia

India es considerado como un país del Sur Global; está situado en el sur del Himalaya y cuenta con un sistema climático único, en el que su clima se encuentra fuertemente determinado por la existencia de monzones, los cuales producen lluvias torrenciales e inundaciones. En particular, durante la temporada del monzón se da la mayor cantidad de lluvia del año, entre los meses de junio y octubre (Gupta et al., 2013). El país depende económicamente de la agricultura, la cual está condicionada por la ocurrencia del monzón, debido a que los cultivos necesitan grandes cantidades de agua. lo que a su vez es paradójico, pues durante las temporadas de lluvia más fuertes, es cuando se han obtenido las mejores cosechas (Blaikie et al., 1996). En un contexto reciente, el cambio climático ha producido inundaciones y sequías al mismo tiempo en diversas zonas de India

Debido a esto, para India siempre ha sido muy importante estar a la vanguardia en cuanto a temas meteorológicos y lo ha estado a lo largo de muchos años. Según el Departamento Meteorológico de India (IMD por sus siglas en inglés), en el país se cuenta con algunos de los observatorios meteorológicos más antiguos del mundo. En 1875, el gobierno establece el IMD, con lo que dispuso todo el trabajo y toda la investigación meteorológica en un mismo centro. El IMD ha liderado el desarrollo de tecnologías e investigación, siendo uno de los centros de meteorología más avanzados del mundo.

2.2.2. Estructura

El IMD cuenta con una estructura en la que, para facilitar el trabajo técnico y administrativo, delega funciones en centros meteorológicos, tanto regionales como estatales. Estos centros se encargan de enfocar sus trabajos y pronósticos según la región donde se encuentren; sin embargo, todos estos centros están conectados y en comunicación constante para tener un sistema completamente articulado en el que toda decisión o información a suministrar debe estar debidamente concertada entre los centros y pronosticadores involucrados.

El centro principal es el Centro Nacional de Pronóstico Meteorológico (NWFC por sus siglas en inglés), ubicado en New Delhi, encargado de coordinar todas las actividades de pronóstico para el país. India cuenta con un centro de investigación y servicios climáticos en Pune (CR&S por sus siglas en inglés). El CR&S es de particular importancia ya que corresponde al Centro Regional sobre el Clima (RCC por sus siglas en inglés) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para el sur de Asia y, a su vez, funciona como centro de reserva para el NWFC. Existen 6

Centros Meteorológicos Regionales (RMC por sus siglas en inglés), de los cuales se desprenden 22 Centros Meteorológicos (MC por sus siglas en inglés); además, este sistema nacional cuenta con una variedad de unidades y divisiones separadas que se encargan de temas especializados, entre las que se destacan los Centros de Alerta de Ciclones (CWC por sus siglas en inglés) y la División de Hidrometeorología, encargada de toda la predicción de inundaciones a través de las Oficinas Meteorológicas de Inundación (FMO por sus siglas en inglés). Las FMO se encuentran establecidas en 10 lugares estratégicos, los cuales pueden dar seguimiento a los 10 ríos importantes que, en temporada de lluvias, pueden representar una amenaza debido a los niveles de inundación que pueden ocurrir (IMD 2023). Toda esta información se encuentra más estructurada en la Figura 9 y se puede encontrar en el sitio oficial del IMD: <https://mausam.imd.gov.in/responsive/orgStructure.php>.

2.2.3 Servicios de pronóstico

El IMD divide al país en 36 subdivisiones, como se observa en la Figura 10. Dichas subdivisiones son meteorológicas, con lo cual permiten realizar un mejor proceso de pronóstico. Como se mencionó anteriormente, existen 6 RMC, entre los que se encuentran los Centros Regionales de Predicción Meteorológica (RWFC por sus siglas en inglés). Estos centros se encargan de realizar los pronósticos de forma regional y cada región incluye unas pocas subdivisiones, por lo que los pronósticos se realizan de una forma regionalizada. También están los Centros Estatales de Pronóstico del Tiempo (SWFC por sus siglas en inglés), que se encargan de monitorear y producir pronósticos para los estados y ciudades principales en los que se encuentran, además de los ya mencionados CWC, que se encargan de monitorear y estar atentos ante cualquier novedad presentada por actividad de ciclones en las zonas costeras.

Sistema de alerta de India

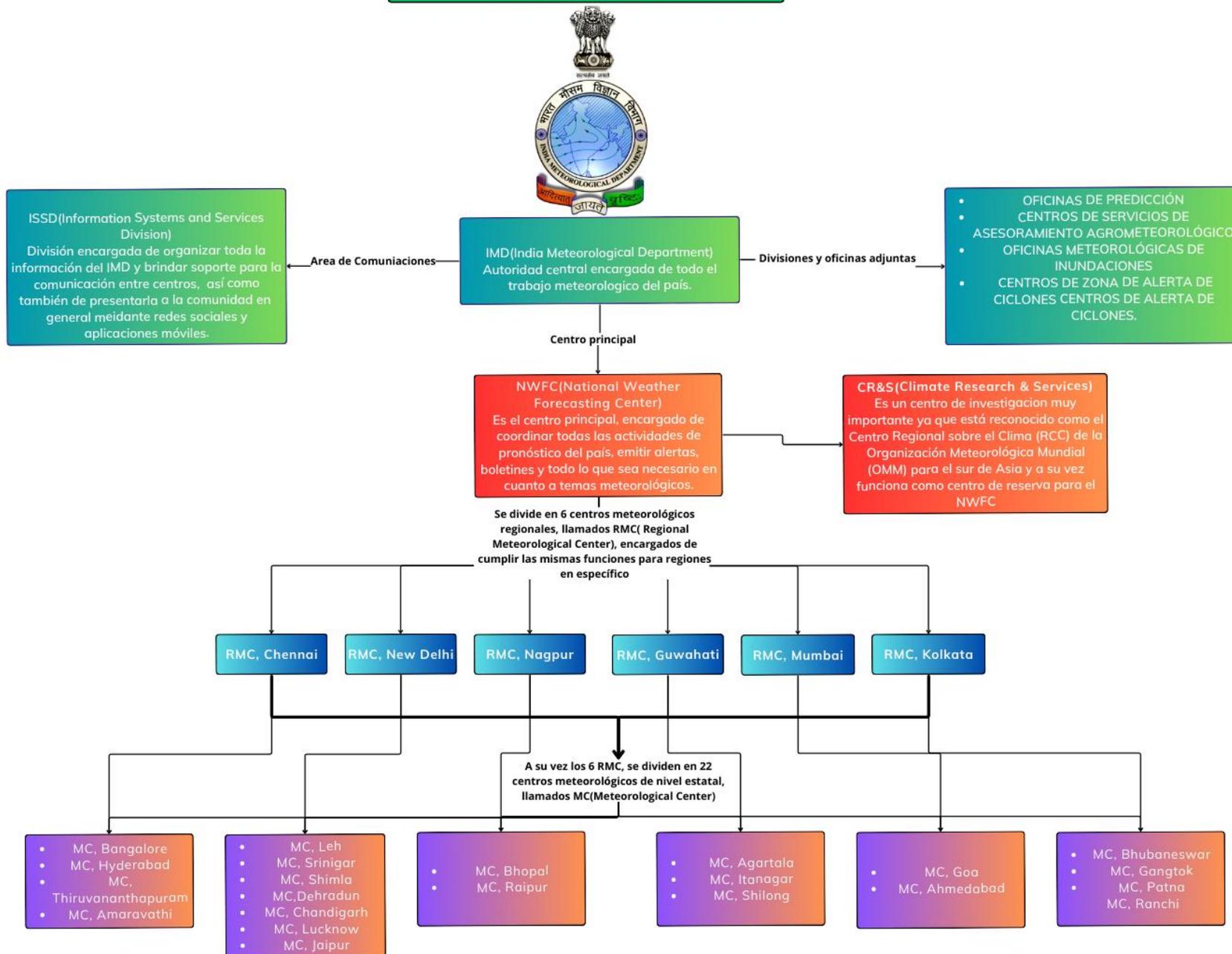


Figura 9. Organigrama del sistema de alerta temprana de India

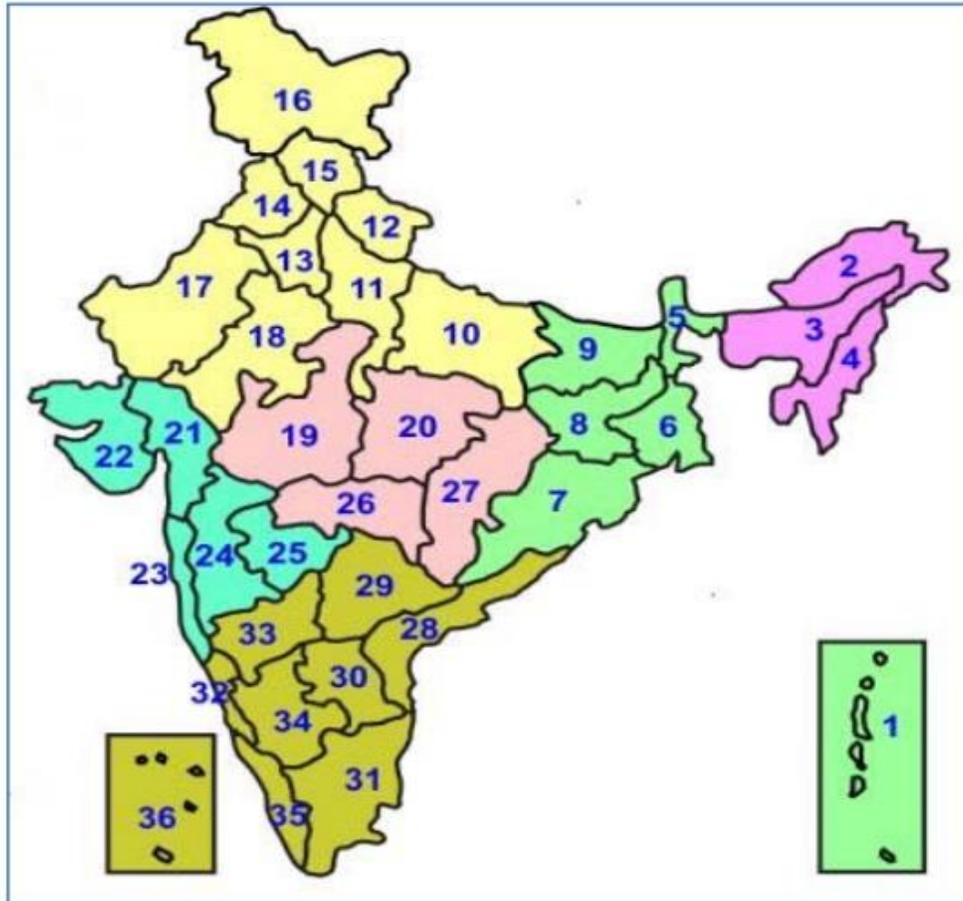


Figura 10. Mapa de las subdivisiones meteorológicas en las que el IMD divide el país para realizar el proceso de pronóstico. Fuente: [forecasting_sop.pdf \(imd.gov.in\)](https://www.imd.gov.in/forecasting_sop.pdf)

2.2.3.1 Pronóstico de lluvias intensas

Como se mencionó anteriormente, India se encuentra en una región propensa a la ocurrencia de lluvias intensas durante el año. Claramente, las probabilidades aumentan durante la temporada de monzón, aunque durante todo el año se puede dar este tipo de eventos. En la Figura 11 se muestran los acumulados de precipitación para los mayores eventos ocurridos entre los años 2005 y 2020, con la cantidad de vidas perdidas en dichos eventos. Esto ilustra los impactos que estos eventos pueden generar, por lo que se hace necesario tener un alto nivel de pronóstico ante estos eventos, pues al momento de tener pronósticos a tiempo y acertados, se pueden salvar vidas humanas.

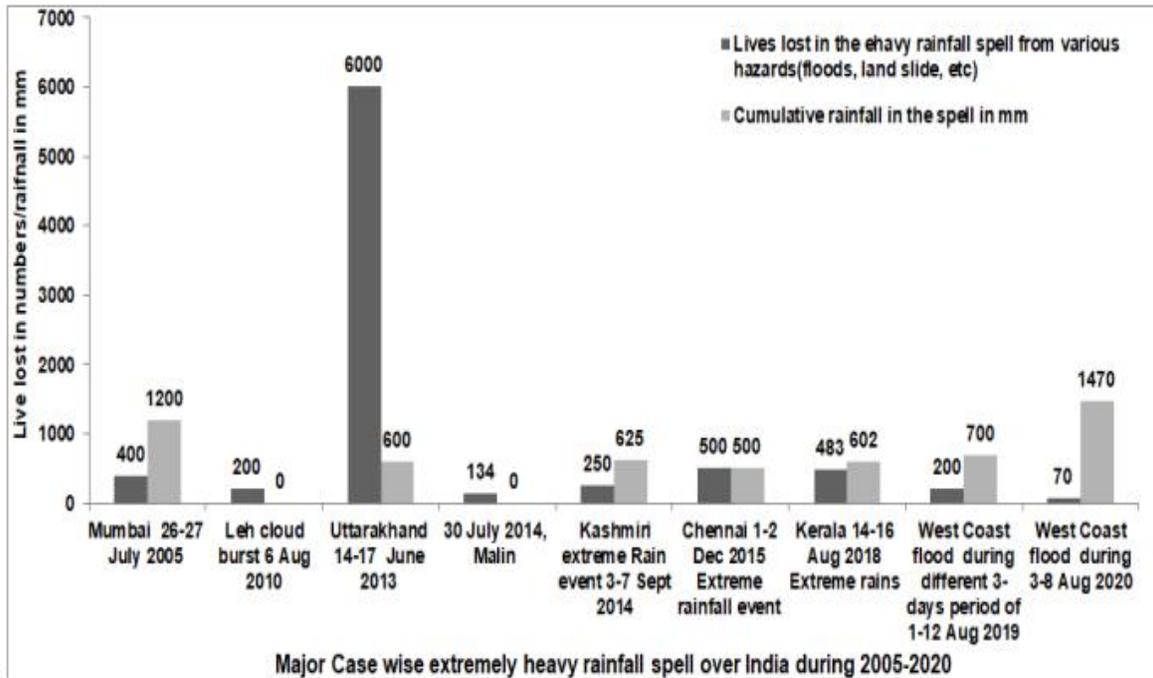


Figura 11. Precipitación acumulada y vidas perdidas durante los eventos de precipitación más fuertes presentados entre 2005 y 2020 en India. Fuente: [forecasting_sop.pdf \(imd.gov.in\)](https://www.imd.gov.in/forecasting_sop.pdf)

Ante esto, el país intenta estar preparado ante la posible ocurrencia de lluvias fuertes que puedan desencadenar inundaciones y que afecten regiones vulnerables. Para esto, se cuenta con las FMO, las cuales deben estar atentas de lo sucedido con los ríos del país que puedan desbordarse y generar grandes problemáticas, y así tener una capacidad de respuesta oportuna. En cuanto al pronóstico de lluvias, el IMD cuenta con un orden establecido con el cual se realiza el análisis de los posibles eventos extremos de lluvia, como se indica a continuación:

- *Análisis del sistema climático causante (génesis, evolución, características y difusión).*
- *Análisis del sistema meteorológico actual basado en observaciones de superficie, radar y satélite.*
- *Comparación de este análisis con el modelo.*
- *Comparación del diagnóstico y pronóstico del modelo y, por tanto, predicción de lluvias para los próximos cinco días.*
- *Desarrollo de consensos.*
- *Modelos numéricos que utilizan un sistema de apoyo a la decisión sobre la ocurrencia e intensidad de las precipitaciones.*
- *Desarrollo de consenso subjetivo entre pronosticadores a través del sistema de videoconferencia, aplicando conocimiento, experiencia y especialización.*

- *Pronóstico final consensuado sobre la ocurrencia e intensidad de lluvias, modulando el consenso objetivo con el consenso subjetivo.*

2.2.3.2 Alertas y emisión de pronósticos

Es de resaltar la capacidad de organización del sistema de alerta temprana de India, ya que como ya se había mencionado, este país cuenta con un sistema muy articulado en el que, al momento de emitir los pronósticos o boletines de alerta por los diferentes centros, todos deben coincidir. Se debe tener presente que el sistema de India se divide de forma nacional, regional y estatal, por lo que se tiene que varios centros emiten pronósticos para una misma subdivisión. Estos pronósticos emitidos para estas mismas subdivisiones deben ser completamente consistentes. Lo anterior se garantiza mediante discusiones detalladas por medio de videoconferencias diarias entre las 10:30am y las 12:00m, justo antes de la emisión del boletín principal, el cual es emitido al medio día, antes de realizar cualquier cambio. Este debe ser consensuado por medio de una llamada telefónica entre los centros pronosticadores.

Dependiendo del tipo de evento o de la severidad del mismo, se emiten una gran diversidad de boletines y de alertas. Estos pronósticos se distribuyen, por lo general, cuatro veces al día, válidos para los próximos 5 días para todo el país.

La distribución de estos boletines continúa con el orden nacional, regional y estatal; a nivel nacional el NWFC emite cuatro boletines al día, el boletín principal alrededor del mediodía y los tres restantes son actualizaciones; los RWFC y los SWFC emiten dos boletines al día, el principal igualmente alrededor del mediodía y una actualización en la noche (IMD 2021). Las horas de emisión de estos boletines son las siguientes:

NWFC:

- Alrededor de las 13:00 horas estándar de India (IST por sus siglas en inglés)
- Alrededor de las 16.30 horas IST
- Alrededor de las 20:00 horas IST
- Alrededor de las 08:00 horas IST del día siguiente

RWFC:

- Alrededor de las 13:00 horas IST
- Alrededor de las 20:00 horas IST
- Alrededor de las 14:00 horas IST

SWFC:

- Alrededor de las 13:00 horas IST

- Alrededor de las 20:00 horas IST
- Alrededor de las 14:00 horas IST

Cuando se pronostican lluvias fuertes o intensas, los boletines se emiten en diferentes etapas, de la siguiente manera:

Etapas 1: Aviso/vigilancia de lluvias intensas: plazo de entrega de 3 a 4 días con actualización cada 12 horas.

Etapas 2: Alerta de lluvias intensas: 48 horas antes de que ocurra el evento con actualización cada 12 horas.

Etapas 3: Advertencia de lluvias fuertes: 24 horas antes de que ocurra el evento con actualización cada hora 06/12.

Etapas 4: 12 horas antes de que ocurra el máximo.

Cuando se está en alerta de eventos severos, los boletines emitidos con 24 horas de anterioridad se actualizan cada 3 horas hasta el momento del evento.

Toda la información obtenida que sea sujeta de alerta es suministrada a las siguientes entidades:

- Autoridad Nacional de Gestión de Desastres
- Fuerza Nacional de Respuesta a Desastres
- Autoridad Estatal de Gestión de Desastres
- Autoridad de aviación, ferrocarriles y transporte por carretera
- Autoridades distritales
- Otras autoridades del gobierno central y estatal
- Todo tipo de medios impresos y electrónicos

Toda esta información se encuentra en el folleto del manejo para lluvias intensas del IMD en la página web https://mausam.imd.gov.in/imd_latest/contents/pdf/pubbrochures/Heavy%20Rainfall%20Warning%20Services.pdf

2.2.4. Comunicación y canales de transmisión

El IMD cuenta con una división de comunicación llamada División de Sistemas y Servicios de Información (ISSD por sus siglas en inglés), la cual se encarga, por medio de plataformas, de brindar la información al público general, de manera que

pueda acceder a todos los servicios y productos meteorológicos. Esta división cuenta con 6 centros regionales y un Centro de Sistemas de Información Global (GISG por sus siglas en inglés), y es la encargada de las videoconferencias entre los centros de pronóstico y de la creación y funcionamiento de las páginas web.

Para la difusión de los pronósticos y avisos, el IMD hace uso de una variedad de plataformas digitales, publican videos semanales en plataformas como YouTube, Facebook, Instagram y X (antes Twitter). Además, tienen un sitio web (<https://www.mausam.imd.gov.in>) en el que las personas pueden encontrar todo tipo de pronósticos y alertas, además de actualizaciones del tiempo meteorológico cada 3 horas. En esa misma línea de facilitar la difusión de información a todo público, se han creado aplicativos como Mausam, DAMINI y RAIN ALARM, los cuales pueden ser descargados en dispositivos móviles para que las personas tengan acceso a esta información.

Capítulo 3

Sistemas de alerta temprana en Colombia

En este capítulo se busca realizar una investigación sobre la estructura y organización de los sistemas de alertas temprana que hay en Colombia, con el fin de realizar una comparativa con los anteriormente expuestos en el Capítulo 2 y así presentar algunas recomendaciones y observaciones en pro de una mejora en los sistemas existentes en nuestro país.

3. Generalidades

Colombia, debido a su ubicación geográfica, se ve afectada por una amplia variedad de fenómenos meteorológicos que ejercen una gran influencia en el país. Estos fenómenos se han detallado en el marco teórico de este trabajo. Lamentablemente, factores como la pobreza, la falta de una planificación adecuada en la urbanización y ciertas intervenciones humanas que agravan los problemas de inundaciones durante las temporadas de lluvia o durante la ocurrencia de eventos La Niña, han llevado a graves pérdidas económicas y, lo que es aún más lamentable, a la pérdida de vidas humanas. Esto se refleja en más de 28 inundaciones registradas entre 1950 y 2011 (Cárdenas, 2018). Todos estos factores contribuyen a que las inundaciones en Colombia sean catalogadas como catastróficas cada vez que ocurren. Esto se debe, en parte, a la expansión de las ciudades hacia áreas propensas a inundaciones o hacia las periferias, donde las fuertes precipitaciones pueden desencadenar deslizamientos que también resultan en tragedias (Sedano et al., 2013).

Según Güiza (2012), un ejemplo notable de tales catástrofes fue el evento La Niña que tuvo lugar entre 2010 y 2011. Durante esa temporada de lluvias, se registraron alrededor de 500 muertes y más de 3,6 millones de personas resultaron damnificadas.

Para hacer frente a esta problemática, Colombia ha trabajado en la creación de sistemas de alerta temprana desde la década de 1960, comenzando con la implementación de redes de monitoreo hidrometeorológico (Mendoza et al., 2016). En la actualidad, el IDEAM se destaca como la entidad principal encargada de abordar estos asuntos en el país, desempeñando un papel fundamental en la prevención y mitigación de desastres relacionados con eventos hidrometeorológicos.

3.1. Sistemas de alerta en Colombia

Cuando hablamos de sistemas de alerta en Colombia, el IDEAM se erige como la entidad primordial a nivel nacional. Su función principal consiste en monitorear, pronosticar y alertar sobre eventos meteorológicos y climáticos que puedan afectar al país (IDEAM 2023). La estructura del IDEAM se organiza principalmente en oficinas, subdirecciones y grupos especializados en áreas específicas. La Figura 12 proporciona un desglose detallado de los grupos que operan bajo las oficinas y subdirecciones del IDEAM.

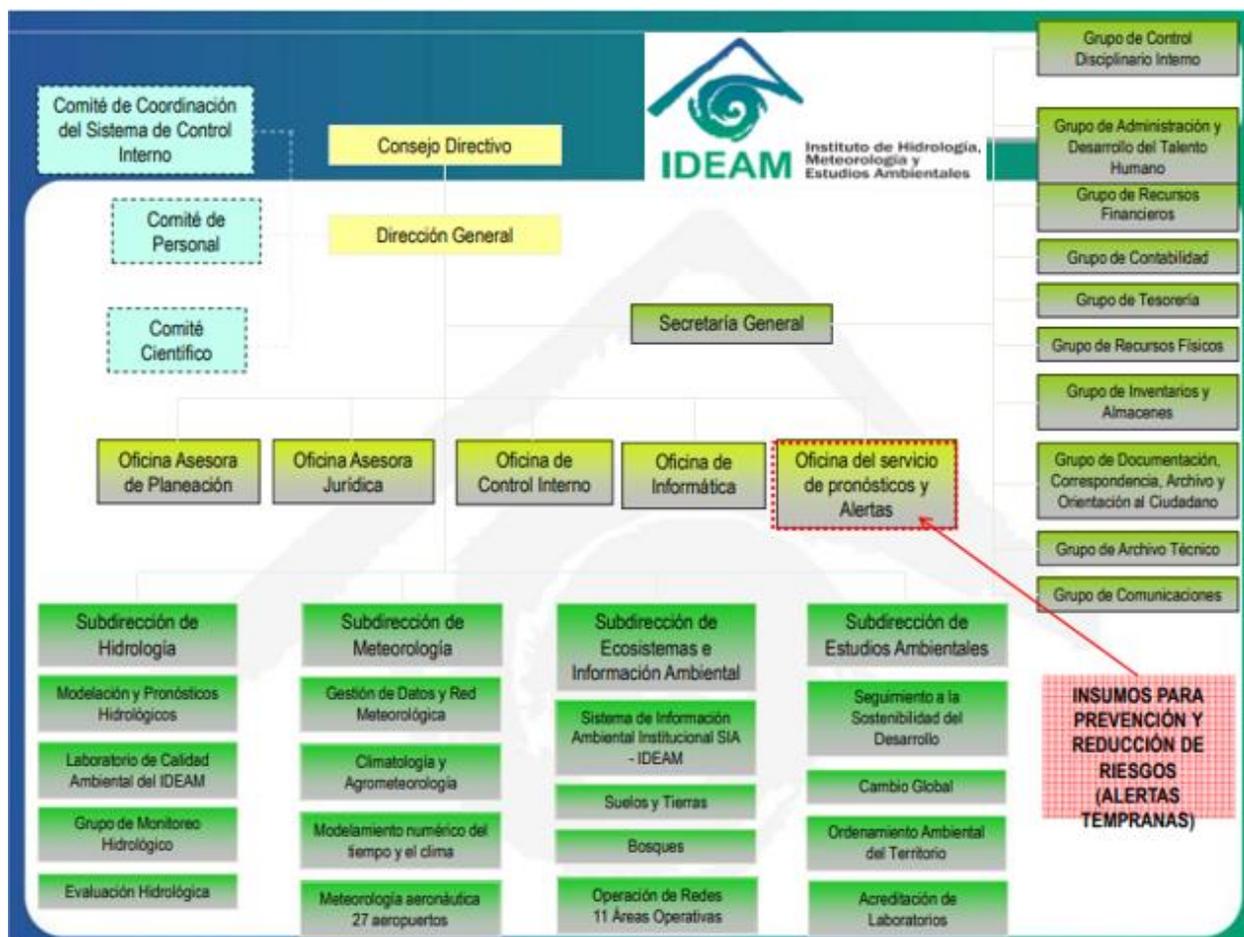


FIGURA 12. Organigrama del IDEAM. Fuente: <file:///D:/Documentos/trabajo%20grado/figura%20ideam.pdf>

De manera más específica, en el país se han desarrollado sistemas de alerta temprana locales, en su mayoría a cargo de las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) y otras entidades. En la Tabla 1 se detallan los sistemas de alerta existentes en el país, y a continuación, se proporciona información sobre algunos de ellos. Posteriormente, se profundizará en el sistema de pronóstico operado por el IDEAM, ya que esta entidad desempeña un papel principal en este contexto.

Tabla 1. Sistemas de alerta temprana locales de Colombia. (López et al., 2017)
Fuente: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742017000100014

Ubicación	Tipo de SAT			Accesibilidad
	Nivel	Amenaza	Enfoque	
Norte de Santander	Departamental	Multi-amenaza	Centralizado	http://www.satnortedesantander.org/
La Guajira	Departamental	Inundaciones y Deslizamientos	Centralizado	http://corpoguajira.gov.co/wp/programas-y-proyectos/sistema-de-alerta-temprana/
Tolima	Departamental	Inundaciones	Centralizado	http://www.cdgrdtolima.gov.co/
Valle de Aburrá	Municipal	Multi-amenaza	Centralizado	http://www.siata.gov.co/newpage/index.php
Barranquilla	Municipal	Inundaciones	Centralizado	http://www.arroyosdebarranquilla.co/
Manizales	Municipal	Deslizamientos	Centralizado	http://idea.manizales.unal.edu.co/index.php/estado-tiempo-caldas
IDEAM	Nacional	Multi-amenaza	Centralizado	http://pronosticos.ideam.gov.co/jsp/746
Bogotá	Municipal	Multi-amenaza	Centralizado	http://www.sire.gov.co/
SNGRD	Nacional	Multi-amenaza	Centralizado	http://190.60.210.210:8080/DGR/index.jsf
OSSO	Nacional	Tsunamis	Centralizado	http://www.osso.org.co/tsunami/

3.1.1. Sistema de alerta temprana del distrito local de Bogotá

El sistema en Bogotá se compone de una amplia variedad de entidades públicas y organizaciones privadas con o sin fines de lucro. La institución encargada de todo el sistema es el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER). Este sistema de alerta cuenta con la Red Hidrometeorológica de Bogotá (RHB), que consta de 27 estaciones encargadas de monitorear todas las variables hidrometeorológicas y los niveles de los ríos. Toda esta información es analizada por pronosticadores y se utiliza para emitir alertas tempranas. Los detalles y datos pueden encontrarse en el sitio del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo y Atención de Emergencias (SIRE; <http://www.sire.gov.co/>), que está disponible para el público en general (Domínguez & Lozano, 2014)

3.1.2. Sistema de alerta temprana para la cuenca del río Combeima

La cuenca del río Combeima se localiza en el departamento de Tolima. Su sistema de alerta incluye, entre sus funciones, mecanismos de comunicación y protocolos de alerta destinados a la comunidad que reside en esta área. El propósito principal de estos mecanismos es mantener a la población informada y preparada para hacer frente a eventos como inundaciones, avalanchas e incluso erupciones volcánicas. Esto se debe a la proximidad de la zona al volcán nevado del Tolima.

La red de monitoreo está compuesta por estaciones que son operadas tanto por el IDEAM como por el Comité Regional de Prevención y Atención de Desastres del Tolima (CREPAD). Toda la información recopilada por estas estaciones es transmitida al CREPAD a través de una antena repetidora. Una vez en el CREPAD, la información es analizada mediante una aplicación de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA) (Agencia Suiza para el Desarrollo y COSUDE, 2010).

3.1.3. Sistema de Alerta Temprana (SIATA)

El sistema de alerta temprana de Medellín y el Valle de Aburrá (SIATA) es uno de los más completos y avanzados de Colombia. Este sistema recibe el respaldo de Empresas Públicas de Medellín (EPM) y de ISAGEN, y su función principal es el monitoreo constante de todas las variables hidrometeorológicas en la región para emitir alertas ante cualquier riesgo de eventos hidrometeorológicos extremos. Entre las herramientas que emplea, se incluyen una amplia variedad de redes de monitoreo:

- 159 pluviómetros para medir las precipitaciones.
- 119 sensores de nivel ubicados en el río Medellín y sus afluentes.
- 39 sensores que componen la red meteorológica, registrando datos como temperatura, humedad, presión, dirección y velocidad del viento.
- 19 disdrómetros para medir el tamaño, la distribución y la velocidad de las gotas de lluvia.
- 3 ceilómetros, dispositivos láser diseñados para tomar perfiles verticales de la atmósfera.
- 133 cámaras utilizadas para monitorear las nubes.
- 20 acelerógrafos para la detección de movimientos sísmicos.
- Sensores de campo eléctrico atmosférico.
- Sistema Satelital de Navegación por Satélite (meteorología GNSS).
- 4 piranómetros, dispositivos encargados de medir la radiación solar que llega a la superficie.
- Una red de sistemas de alerta comunitarios, que consiste en alertas sonoras que se activan en respuesta a aumentos en el nivel de ríos o quebradas.

Toda la información de las estaciones es transmitida en tiempo real y es de acceso público. El SIATA la transmite por sus redes sociales y mediante su página web (<http://siata.gov.co/newpage/index.php>), donde se puede encontrar toda la información y si es necesario descargarla (SIATA 2023).

3.2 Sistema de pronóstico IDEAM

La principal función del IDEAM en el país es la de brindar servicios de pronóstico a través de su subdirección de meteorología, con la que constantemente está estudiando el clima del país, frente a la posibilidad de la ocurrencia de eventos extremos que puedan desencadenar en tragedias o grandes problemas para la comunidad. El IDEAM cuenta con un programa operativo para el pronóstico del tiempo y basa sus pronósticos en dos modelos de mesoescala, el modelo de Weather Research and Forecasting (WRF) y el modelo de mesoescala y microescala V5 (MM5), ambos modelos utilizan la información suministrada por el modelo de baja resolución de la NOAA conocido como GFS (Global Forecast System). Estos modelos arrojan información para variables como presión media al nivel del mar, humedad relativa, temperatura, viento, precipitación, entre otros, con lo que se alcanzan a generar pronósticos que superan hasta los 5 días. (Domínguez E & Lozano, 2014) (IDEAM 2023)

Por lo general, el IDEAM distribuye los pronósticos para las regiones naturales del país (Caribe, Pacífico, Andina, Insular, Orinoquía y Amazonía), en el día emite videos, donde proporciona pronósticos para la mañana, tarde, noche y madrugada, estos son emitidos a las 07:30am, 01:30pm y 06:30pm en su canal de YouTube (<https://www.youtube.com/@InstitutoIDEAM>), demás redes sociales y son replicados por los medios de comunicación del país (CANAL INSTITUCIONAL).

Adicionalmente a todo esto, el IDEAM publica una gran variedad de boletines, informes, alertas y comunicados del orden diario, semanal, quincenal y mensual. Estos son:

- Informes de predicción climática
- Boletín quincenal sobre El Niño y La Niña
- Boletín semanal agrometeorológico
- Informe diario de deslizamientos
- Informe técnico diario de alertas
- Informe diario de crecientes súbitas e inundaciones
- Informe diario de incendios de la cobertura vegetal
- Comunicados especiales

En estos boletines o informes incluyen toda la información sobre el comportamiento de las variables meteorológicas e hidrometeorológicas sobre

las zonas del país en los días anteriores a la publicación del boletín e incluyen los pronósticos para los días posteriores. (IDEAM 2023)

Con el fin de simplificar el seguimiento de variables y la emisión de pronósticos, del IDEAM dispone de herramientas web y aplicaciones que facilitan la difusión de datos y su seguimiento. Entre estas herramientas se incluyen las siguientes:

- **VIDHAG: Visor de Datos, Pronósticos y Alertas Hidrometeorológicas como Apoyo a la Gestión del Riesgo**

VIDHAG, es una herramienta web interactiva que se encarga de brindar información para el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo (SNGRD) y para el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC). Fue desarrollada como parte del proyecto Fortalecimiento de la Red de Alertas Tempranas de Origen Hidrometeorológico, el cual fue ejecutado por parte del IDEAM y el fondo adaptación debido a los grandes impactos que dejó el fenómeno de La Niña durante la temporada de 2010-2011.

Lo que hace que la herramienta sea tan valiosa, es que pone a disposición de los organismos o entidades interesadas, información proveniente de diversas fuentes, como lo son radares meteorológicos, estaciones hidrometeorológicas, imágenes de satélite GOES 16, descargas eléctricas, productos asociados a pronósticos y alertas a partir de diferentes modelos globales, información de gestión del riesgo, etc. Toda esta información disponible, es utilizada para la generación de pronósticos, emisión de alertas, sirve como apoyo para procesos de planificación y toma de decisiones a nivel nacional, regional y local ante la ocurrencia de eventos extremos (IDEAM 2023), la información se encuentra disponible en el siguiente link <https://vidhag.ideam.gov.co/visor>.

- **FEWS (Flood Early Warning System)**

En el IDEAM, la Subdirección de Hidrología se encarga del monitoreo constante del comportamiento hidrológico de los principales ríos en Colombia las 24 horas del día. Utilizan una red de 400 estaciones hidrológicas que proporcionan datos en tiempo real. Además, cuentan con la herramienta FEWS, una plataforma que integra información de estas estaciones y otras fuentes hidrometeorológicas. En el portal de FEWS, se pueden encontrar las condiciones actuales de los ríos y alertas

sobre posibles cambios en su comportamiento, en la figura 13 se observa una captura de la información que brinda el portal.

El Grupo de Hidrología proporciona esta información al área del IDEAM encargada de emitir pronósticos y alertas. Aunque la información está disponible para el público en el sitio oficial de FEWS (<http://fews.ideam.gov.co/colombia/MapaEstacionesColombiaEstado.html>), (IDEAM), se aclara que es información sin validación. Para obtener información precisa sobre alertas y pronósticos, se recomienda consultar el Informe Hidrológico Diario en el siguiente enlace: <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/boletin-hidrologico-diario>.

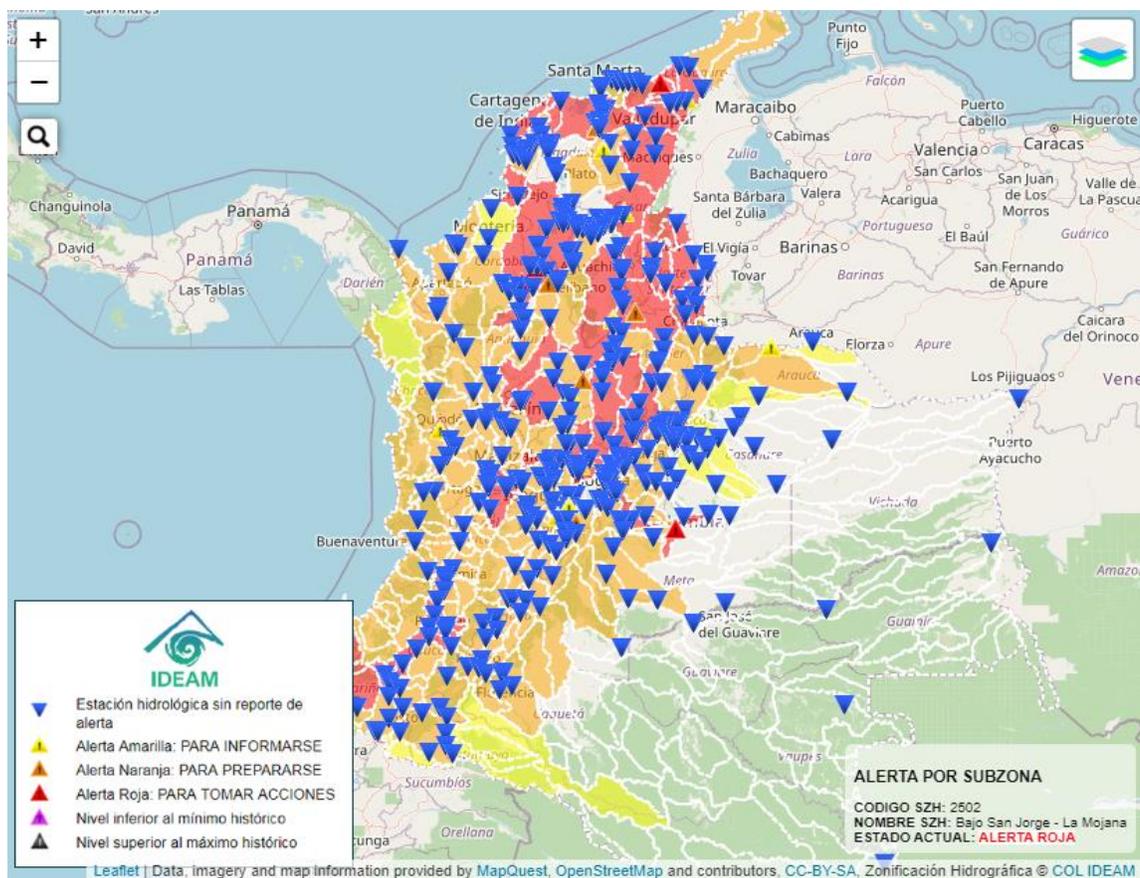


FIGURA 13. Captura de la interfaz de la página web de FEWS. Fuente: <http://fews.ideam.gov.co/colombia/MapaEstacionesColombiaEstado.html>

- **Mi Pronóstico**

Esta es la aplicación gratuita del IDEAM disponible para dispositivos iOS y Android. En ella, se pueden encontrar pronósticos para los próximos cuatro

días y alertas que abarcan ciudades, municipios e incluso la ubicación exacta del usuario (IDEAM 2023).

3.3 Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD)

El Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, establecido mediante la Ley 1523 de 2012 y sancionado por decreto presidencial, se compone de entidades tanto públicas como privadas que colaboran en la gestión del riesgo en Colombia. Su objetivo principal es proporcionar protección a la población en todo el país, en la Figura 14 se puede observar su estructura.

El SNGRD tiene la responsabilidad de llevar a cabo todos los procesos relacionados con el conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres. Esto se logra siempre y cuando la ciudadanía colombiana siga las recomendaciones y actúe con precaución. (Gestión del riesgo 2023)

Este sistema consta de 6 instancias de orientación y coordinación, que trabajan en conjunto para mejorar la gestión del riesgo. Estas instancias son las siguientes:

- Consejo Nacional para la Gestión del Riesgo
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres
- Comité Nacional para el Conocimiento del Riesgo
- Comité Nacional para la Reducción del Riesgo
- Comité Nacional para el Manejo de Desastres
- Consejos Departamentales, Distritales y Municipales para la Gestión del Riesgo

Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres



Figura 14. Estructura del SNGRD. Fuente: <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Estructura.aspx>

Capítulo 4

Recomendaciones para el sistema de Colombia

Con base en las investigaciones realizadas sobre los sistemas de alerta de India, EEUU y Colombia, y haciendo hincapié sobre el evento sucedido en la ciudad de Medellín, Colombia, el 14 de enero de 2023, se realizan las siguientes recomendaciones al sistema de alerta de Colombia:

- **Ampliación de la red de monitoreo:** Invertir en la expansión de las redes de monitoreo y estaciones meteorológicas es crucial para alcanzar áreas remotas del país donde actualmente no se dispone de este tipo de sistemas. La geografía de estas zonas las convierte en lugares propensos a sufrir desastres detonados por eventos hidrometeorológicos extremos.
- **Mejora en la comunicación y coordinación entre instituciones:** Durante la investigación de los sistemas de alerta de EEUU e India, se pudo observar la notable coordinación entre las entidades y la comunicación eficiente. Se destacó que, en dichos sistemas, todos los pronósticos deben coincidir y cualquier modificación debe resultar de un consenso. Esta situación contrasta con el sistema de alerta de Colombia, donde no se logra identificar un nivel de coordinación similar. Sería beneficioso mejorar la comunicación, especialmente al presentarse la posibilidad de un evento de gran magnitud. Se sugiere que entre las entidades se comparta esta información para permitir una mejor preparación previa a la ocurrencia del evento.
- **Aumento de sistemas de alertas locales:** Sería de gran utilidad contar con un mayor número de sistemas de alerta locales. Según la información recopilada, en Colombia hay menos de 10 sistemas de alerta local, a pesar de tener 32 departamentos. Dada la diversidad geográfica y climática del país, la necesidad de sistemas locales surge para atender de manera específica las peculiaridades de cada región. Esto permitiría proporcionar pronósticos precisos y respuestas adecuadas ante eventos meteorológicos. En contraste, en EEUU e India se observa una amplia presencia de sedes, oficinas y centros regionales, que facilitan un tratamiento más personalizado para todas las zonas del país.
- **Desarrollo de un sistema de respuesta rápida con evaluación continua:** Durante el evento del 14 de enero de 2023, al que se hace referencia al inicio de este Trabajo de Grado, quedó en evidencia la respuesta tardía de las entidades encargadas de la gestión del riesgo en la ciudad de Medellín. Además de esto, se destacó la inexistencia de soluciones o estrategias

preestablecidas para hacer frente a eventos de esta naturaleza. Este hecho es particularmente preocupante dado que el problema de inundaciones en los puntos bajos y deprimidos de la ciudad no es nuevo y ha sido una preocupación arraigada durante muchos años.

Después de este evento, se hicieron públicas algunas propuestas para abordar este tipo de problemas, pero hasta la fecha de presentación de este Trabajo, no se ha encontrado ninguna publicación que indique la implementación de soluciones o estrategias para hacer frente a estos desafíos. Esta observación y recomendación no se limitan a Medellín, sino que se extienden a todo el país, donde la capacidad de respuesta de las entidades encargadas se ve superada y no se vislumbran sistemas eficaces para enfrentar eventos de gran magnitud.

- **Implementación de un sistema de comunicación efectiva acompañado de concientización pública:** Los sistemas de alerta de EEUU e India cuentan con mecanismos de comunicación que permiten advertir a las comunidades cuando se aproxima un evento de gran magnitud. Además de utilizar las redes sociales, disponen de sistemas para enviar mensajes directos a los teléfonos celulares de la población y difundir alertas a través de la radio o la televisión. En contraste, en Colombia no se dispone de un sistema de comunicación de esta índole. Este déficit se pone de manifiesto, una vez más, al recordar el incidente ocurrido en Medellín en enero de 2023, donde lamentablemente dos personas perdieron la vida al adentrarse en un área deprimida inundada.

Este trágico suceso resalta la posibilidad de haber evitado la tragedia mediante la simple publicación de las zonas inundadas de la ciudad o con el cierre de vías. Esto lleva a reflexionar sobre la deficiente gestión de tales situaciones. Sin embargo, no se debe cargar toda la responsabilidad únicamente sobre las entidades pertinentes; es imperativo implementar procesos de concientización en las comunidades y la población en general sobre los riesgos y peligros asociados a eventos de esta índole. De esta manera, se busca evitar que las personas se movilicen o realicen acciones que pongan en peligro sus vidas.

Comentarios finales

La inundación que afectó a Medellín, Colombia, el 14 de enero de 2023, fue un evento catastrófico que causó pérdidas humanas y daños severos a la infraestructura. Esta tragedia expuso las deficiencias en la gestión de riesgos de inundaciones y la respuesta a eventos climáticos extremos en el país. La falta de respuesta efectiva de los sistemas de alerta en Colombia durante la inundación, destaca la necesidad de un enfoque más proactivo y coordinado para gestionar los riesgos de inundaciones. Durante este evento, el sistema de alerta principal de Colombia, representado por el IDEAM y el Sistema de Alerta Temprana de Medellín y Antioquia (SIATA), evidenció su insuficiencia al brindar advertencias oportunas y efectivas, con una cobertura geográfica limitada y alertas poco precisas, contribuyendo así a la magnitud de la tragedia.

La investigación sobre el sistema de alerta colombiano subraya la escasez de sistemas locales en comparación con las diferentes regiones del país. La diversidad geográfica y climática del país demanda sistemas de alerta adaptados a cada región, lo que señala una limitación en la capacidad de respuesta y alerta adaptada a cada área. En contraste, los sistemas de alerta temprana en India y Estados Unidos muestran un alto nivel de desarrollo, con una estructura bien articulada y múltiples sedes especializadas, lo que ha mejorado significativamente su capacidad de respuesta ante eventos meteorológicos extremos. Las estadísticas revelan registros catastróficos de muertes y pérdidas económicas durante eventos meteorológicos en estos países, impulsando la implementación de sistemas de alerta para hacer frente a estos desafíos.

La importancia de sistemas efectivos, evaluados de manera constante, sugiere que una respuesta más adecuada podría haber evitado la pérdida de vidas en Medellín. La evaluación de sistemas en India y Estados Unidos revela estrategias que podrían aplicarse en Colombia, resaltando la necesidad de inversión en tecnología, educación pública y coordinación interinstitucional. Los sistemas de alerta en EE. UU. e India podrían servir como referencia para fortalecer los sistemas de Colombia.

Referencias

Agencia Suiza para el Desarrollo & COSUDE. (2010). Implementación de un sistema de alerta temprana para la cuenca del Río Combeima, Departamento del Tolima – Colombia. Bogotá: COSUDE.

AMVA. (2023). Historia. Recuperado el 15 de abril de 2023, de <https://www.metropol.gov.co/area/Paginas/somos/Historia.aspx#:~:text=El%20Vall e%20de%20Aburrá%20es,kilómetros%20y%20una%20amplitud%20variable>

Arias, P.A., 2005. Diagnóstico y predicción de la variabilidad intra-anual de la hidrología colombiana. Tesis de Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.

Blaikie, P.; Cannon, T.; Davis, I. Y Wisner, B. (1996). Vulnerabilidad. El entorno social, político y económico de los desastres. Bogotá: LA RED-Tercer Mundo Editores.

Builes, A., Yepes, J. Y Salas, H. 2022. The Orinoco low-level jet during El Niño–Southern Oscillation.

Cárdenas, K. (2018). ANÁLISIS GENERAL DE LA GESTIÓN DEL RIESGO POR INUNDACIÓN EN COLOMBIA. *Revista Científica En Ciencias Ambientales Y Sostenibilidad*, 4(1). Recuperado a partir de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/CAA/article/view/335841>

Coupé, F., (2011). La gestión del riesgo en el Valle de Aburrá. Una larga historia. *Gestión y Ambiente*, 14(2), 17-44.

Domínguez-Calle, E., & Lozano-Báez, S. (2014). Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 38(148), 321. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.132>

FEMA. (2023), We Are Fema. Recuperado el 17 de Noviembre de 2023, de [We Are FEMA | FEMA.gov](https://www.fema.gov)

GESTION DEL RIESGO. (2023). Estructura del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de <https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Estructura.aspx>

Giraldo-Cárdenas et al., 2022. Easterly waves and precipitation over northern South America and the Caribbean.

Güiza Suárez, L. (2012). Gestión del riesgo de inundaciones en Colombia. *Letras Verdes Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.12.2012.922>

Gupta, A.; Sreeja, N.; Shiraz, W. and Dey, S. (2013). Flood Disaster Risk Management: Gorakhpur Case Study. National Institute of Disaster Management (NIDM).

How to use the cone graphic. (s/f). Noaa.gov. Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de https://www.nhc.noaa.gov/cone_usage.php

IDEAM. (2023). Acerca de la entidad, Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/web/entidad/acerca-entidad>

IDEAM. (2023). BOLETÍN DE ALERTAS HIDROLÓGICAS N° 014. http://www.pronosticosyalertas.gov.co/documents/78690/125406685/014_IDA_EN_ERO_14_2023.pdf/59e062f4-e0da-4e0a-b496-5f38217227c0?version=1.0

IDEAM. (2023). FEWS COLOMBIA, Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/fews>

IDEAM. (2023). Orientación en Pronósticos Meteorológicos - Predicción Hidrológica y Productos del IDEAM, Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de [figura ideam.pdf](#)

IDEAM. (2023). Predicción, Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de [Predicción - IDEAM](#)

IDEAM. (2023). VIDHAG - Visor de Datos, Pronósticos y Alertas Hidrometeorológicas como Apoyo a la Gestión del Riesgo, Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de <http://www.pronosticosyalertas.gov.co/vidhag>

IMD. (2021). Standard Operation Procedure - Weather Forecasting and Warning Services. [forecasting_sop.pdf \(imd.gov.in\)](#)

IMD. (2023). Heavy Rainfall Warning Services, Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de https://mausam.imd.gov.in/imd_latest/contents/pdf/pubbrochures/Heavy%20Rainfall%20Warning%20Services.pdf

IMD. (2023). History, Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de <https://mausam.imd.gov.in/responsive/history.php>

IMD. (2023). Organisation Structure, Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de <https://mausam.imd.gov.in/responsive/orgStructure.php>

Lenton, T. M. 2011. Early warning of climate tipping points. *Nature Climate Change*. 1 (4): 201-209

López-García, J.-D., Carvajal-Escobar, Y., Enciso-Arango, A.-M. 2017. Sistemas de alerta temprana con enfoque participativo: un desafío para la gestión del riesgo en Colombia. *Luna Azul*, 44, 231–246. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.14>

López-García, J.-D., Carvajal-Escobar, Y., Enciso-Arango, A.-M., Universidad del Valle (2017). Sistemas de alerta temprana con enfoque participativo: un desafío para la gestión del riesgo en Colombia. *Luna Azul*, 44, 231–246. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.14>

Mendoza, A., González, H., Buelvas, J. & Martínez, S. (2016). Guía para la Implementación de Sistemas de alerta temprana.

Mesa, O. J. y G. Poveda, 1996. Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia.

National Weather Service. (s/f). National weather service. Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de <https://www.weather.gov/>

NCEP. (2023). National Centers for Environmental Prediction. Recuperado el 17 de Noviembre de 2023, de [National Centers for Environmental Prediction \(weather.gov\)](https://www.weather.gov/)

NOAA. (2023). NOAA organization chart. Recuperado el 17 de Noviembre de 2023, de [NOAA organization chart | National Oceanic and Atmospheric Administration](https://www.noaa.gov/organization-chart)

NOAA's Climate Prediction Center. (2001). NOAA's Climate Prediction Center. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

NWS significant flood outlook. (2008). <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/nationalfloodoutlook/>

Ocharan, J. 2007. Sistemas de Alerta Temprana. Fotografía actual y retos futuros. Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano. 6: 39-43.

Poveda et al, 2002: influencia del ENSO, Oscilación MADDEN-JULIAN, Ondas Del Este, huracanes y fases de la luna en el ciclo diurno de precipitación en Los Andes tropicales de Colombia.

Poveda et al, 2002: influencia del ENSO, Oscilación MADDEN-JULIAN, Ondas Del Este, huracanes y fases de la luna en el ciclo diurno de precipitación en Los Andes tropicales de Colombia.

Poveda, G. Y Mesa, O. J. 2000. On the existence of Lloró (the rainiest locality on Earth): enhanced ocean-atmosphere-land interaction by a low level jet. *Geophys*

Sedano, K., Carvajal, Y. & Díaz, A. (2013). Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia *Luna Azul*, (37), pp. 219-238.

Siata. (11 de octubre de 2018). *SIATA - Sistema de Alerta Temprana del valle de Aburrá*. Recuperado el 15 de abril de 2023, de https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/noticia1

SIATA. (2023). INFORME HIDROMETEOROLÓGICO SEMANAL GESTIÓN DEL RIESGO Semana: 09 de enero hasta 15 de enero de 2023. [HIDROMET 20230109_20230115.pdf \(siata.gov.co\)](https://siata.gov.co/HIDROMET_20230109_20230115.pdf)

SIATA. (2023). Redes, Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/monitoreo

Sistema de Alerta en Emergencias. (s/f). Fema.gov. Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de <https://www.fema.gov/es/emergency-managers/practitioners/integrated-public-alert-warning-system/public/emergency-alert-system>

US Department of Commerce, NOAA, & National Weather Service. (s/f). *AHPS Precipitation Analysis*. Weather.gov. Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de <https://water.weather.gov/precip/>

Valencia, L. R. J. (2023, 16 enero). La tragedia que dio nombre al depresido donde murieron dos personas en Medellín. *El Tiempo*. <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/medellin-la-tragedia-que-le-dio-nombre-al-deprimido-de-los-musicos-733926>