

Estado del arte de los sistemas de alerta temprana en Colombia

Efraín Domínguez-Calle^{1,*}, Sergio Lozano-Báez²

¹Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

²Asistente de investigación de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Resumen

El aumento de los desastres naturales en todo el mundo ha generado grandes pérdidas económicas, ambientales y de vidas humanas. Los sistemas de alerta temprana se han desarrollado como una herramienta para mitigar el impacto de estos eventos, en torno a los cuales existe mucha información que, infortunadamente, se encuentra dispersa. En este contexto, el presente trabajo tuvo como propósito hacer una revisión bibliográfica de las publicaciones sobre el tema, profundizando en dos de los principales desastres naturales: las inundaciones y las sequías. Se presenta, igualmente, lo concerniente a los sistemas de alerta temprana en Colombia, así como algunas recomendaciones para mejorar su uso.

Palabras clave: sequía, inundación, riesgo, gestión del riesgo, predicción.

State of the art of the early warning system in Colombia

Abstract

The overall increase of natural disasters has generated significant economic, environmental and human life losses. As a tool for mitigating these impacts, early warning systems have been developed, about which there is a lot of information that, unfortunately, is scattered. In this context, this paper aimed at reviewing the literature on the topic, delving into two major disasters: floods and droughts. We also present early warning systems in Colombia and some recommendations on how to improve their use.

Key words: Drought, flood, risk, risk management, prediction.

Marco conceptual

El fenómeno del cambio climático ha llevado a un incremento en las amenazas meteorológicas e hidrológicas (UNEP-GEAS, 2012). Un reflejo de ello son los 6.000 desastres naturales que entre 1995 y 2004 causaron 900.000 muertos, 2.500 millones de personas damnificadas y US\$ 738 billones en pérdidas materiales a nivel mundial (Basher, 2006). Las inundaciones y las sequías son las amenazas meteorológicas e hidrológicas de más importancia debido a la magnitud de los daños que causan, por lo que en las últimas décadas ha crecido el interés por los sistemas de alerta temprana (SAT) para enfrentarlas. Tales sistemas han contribuido a reducir las pérdidas económicas y el número de heridos o víctimas mortales (Ocharan, 2007; Lenton, 2011).

El desarrollo de dichos sistemas se inició en 1960, cuando la Organización de las Naciones Unidas comenzó a adoptar medidas en este sentido. Sin embargo, fue en 1970, con la resolución 2717 de este organismo, que se planteó formalmente la necesidad de desarrollarlos. Posteriormente, en 1989, y con el fin de reducir los daños causados por los eventos catastróficos, se estableció la Década Internacional

para la Reducción de los Desastres Naturales de 1990 al año 2000 (IDNDR); desde entonces, todos los años, el 13 de octubre, se celebra un día conmemorativo. A partir de ese momento aumentó el interés por los sistemas de alerta temprana, lo que desembocó en 1994 en la realización de la Conferencia Internacional de las Naciones Unidas para la Reducción de los Desastres Naturales, en la cual se establecieron las directrices para la prevención, la preparación y la mitigación de los desastres naturales en el siglo XXI. En 1999 las Naciones Unidas adoptaron la resolución 54/219 con el fin de dar inicio a la Estrategia Internacional para la Reducción de los Desastres. Por último, en el 2005, durante la Conferencia Mundial sobre la Reducción de los Desastres, se estableció un plan de acción conocido como el Marco de Acción de Hyogo, el cual establece las prioridades para la gestión del riesgo (UNISDR, 2013).

*Correspondencia:

Efraín Domínguez-Calle, e.dominguez@javeriana.edu.co.

Recibido: 30 de abril de 2014

Aceptado: 9 de septiembre de 2014

Los sistemas de alerta temprana han evolucionado con el conocimiento científico. En su desarrollo, **Basher** (2006) identifica cuatro etapas.

1. Los sistemas pre-científicos, que se basan en las primeras observaciones sobre fenómenos simples como la forma de las nubes, el estado del océano o la visibilidad de las estrellas.
2. Los sistemas de alerta temprana *ad hoc*, que son sistemas específicos desarrollados por iniciativa de científicos o personas interesadas en el tema del riesgo.
3. Los sistemas de alerta temprana desarrollados por los servicios meteorológicos, que implican una entrega organizada, lineal y unidireccional de los productos de la alerta a los usuarios por parte de los expertos.
4. El sistema de alerta temprana integral, el cual vincula todos los elementos necesarios para la advertencia temprana y la respuesta eficaz, e incluye el papel del elemento humano del sistema y la gestión de riesgos.

Definición de los conceptos de sistema de alerta temprana y riesgo

El concepto de sistema de alerta temprana se emplea en los diferentes contextos en los que el riesgo está implícito (natural, geofísico, socio-político, industrial, entre otros) (**Basher**, 2006). En la literatura especializada se encuentran muchas definiciones del concepto (**Davies, Buchanan y Lambert**, 1991; **Maskrey**, 1997; **UNISDR**, 2006; **Grasso**,

Beck & Manfredi, 2007; **Hall**, 2007; **Ocharan**, 2007; **Medina-Cetina & Nadim**, 2008; **UNISDR**, 2009; **Intrieri, et al.**, 2012; **UNEP & GEAS**, 2012; **Birkmann, et al.**, 2013). Al revisar cada una de estas definiciones se encuentran elementos comunes que nos permiten definir un sistema de alerta temprana como el conjunto de herramientas, dispositivos de control, capacidades de gestión e instrumentos tecnológicos que las instituciones claves identifican para difundir la información de manera oportuna a las comunidades expuestas a un riesgo, y cuyo resultado son medidas de mitigación orientadas a reducir los efectos de los desastres naturales y las pérdidas económicas y de vidas, así como las lesiones.

Un concepto muy relacionado con los sistemas de alerta temprana es el de riesgo. Podemos definir el riesgo como “la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas” (**UNISDR**, 2009). Los desastres naturales y las consecuentes pérdidas sociales, ambientales y económicas han llevado a la creación de la gestión del riesgo, la cual se refiere a las acciones y procesos sociales orientados a minimizar las consecuencias negativas de los desastres, incluidas las actividades posteriores a estos, tales como la rehabilitación y la reconstrucción del territorio. La gestión del riesgo incorpora cinco componentes principales: 1) la identificación y evaluación del riesgo; 2) la reducción del riesgo; 3) la protección financiera; 4) los preparativos y la respuesta a los desastres, y 5) la recuperación después de un desastre. El cuarto componente incluye los sistemas de alerta temprana (Figura 1) (**Ghesquiere & Mahul**, 2010; **Yamin, et al.**, 2013).

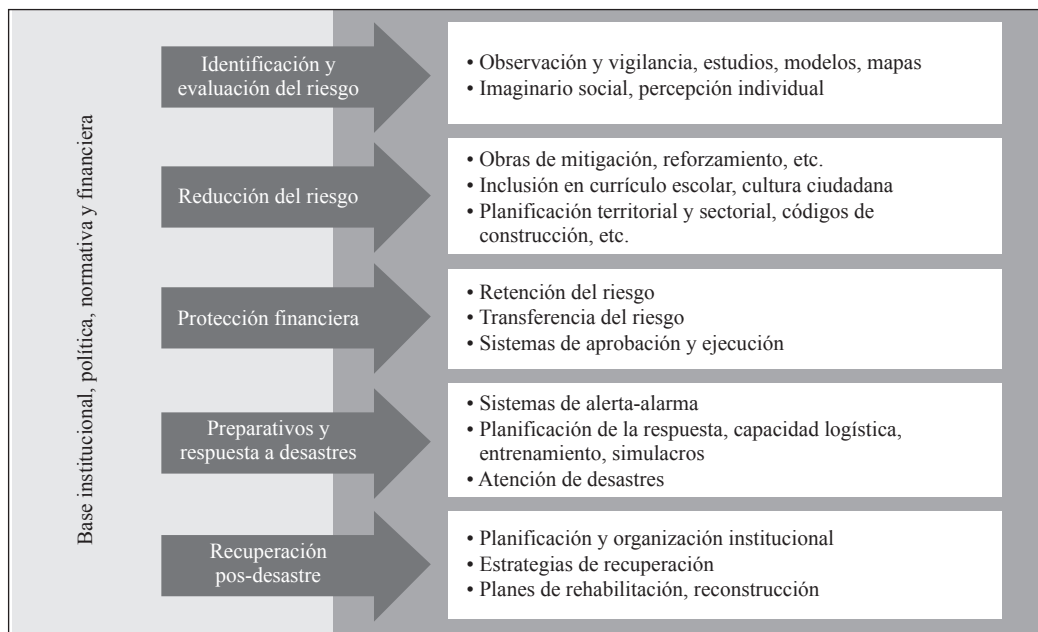


Figura 1. Principales componentes de la gestión del riesgo (Tomada de: **Yamin, et al.**, 2013).

Estructura de los sistemas de alerta temprana

Los sistemas de alerta temprana pueden tener diferentes estructuras que varían en su complejidad, pero, por lo general, están conformados por los siguientes subsistemas (Maskrey, 1997):

- subsistema de alerta, compuesto por las predicciones y la monitorización de los peligros a nivel nacional e internacional, el cual produce información científica que se transmite a las autoridades nacionales encargadas de los desastres;
- subsistema de información del riesgo, el cual permite generar el escenario del riesgo e identificar los impactos potenciales, así como los grupos y sectores vulnerables que pueden verse afectados por el desastre;
- subsistema de preparación, mediante el cual se desarrollan estrategias y acciones para reducir los daños generados por el desastre, y
- subsistema de comunicación, cuyo objetivo es comunicar la información oportuna sobre el peligro, haciendo énfasis en los grupos vulnerables y teniendo en cuenta medidas de mitigación, escenarios potenciales de riesgo y estrategias de preparación.

Recientemente se ha comenzado a enfatizar la importancia de los sistemas de alerta temprana centrados en la gente, los cuales contemplan los siguientes cuatro elementos fundamentales para su correcto funcionamiento (UNISDR, 2006).

1. Conocimiento de los riesgos: consiste en comprender el riesgo, para lo cual es necesario evaluarlo mediante la recolección de datos que permitan establecer las medidas de mitigación y prevención.
2. Servicio de seguimiento y alerta: emite los pronósticos y la alerta; debe funcionar 24 horas al día y estar coordinado con las diferentes instituciones. Además, debe respaldarse en el conocimiento científico para emitir pronósticos confiables.
3. Difusión y comunicación: debe contarse con un sistema de comunicación para transmitir la información sobre el riesgo y la alerta temprana. La información debe ser clara, útil, llegar a tiempo y ser accesible a todas las personas en peligro.
4. Capacidad de respuesta: la comunidad debe comprender el riesgo en el que se encuentra, respetar el sistema de alerta, saber responder ante los avisos de alerta y tener planes de respuesta.

Las sequías

Las sequías son un fenómeno normal y recurrente en todos los regímenes climáticos; se producen por la reducción natural de la precipitación durante un periodo y están asociadas

a factores como las altas temperaturas, la baja humedad relativa, los vientos fuertes, la intensidad y el número de días de lluvia escasa. Se diferencia de otros desastres por la duración (meses o años) y la cobertura espacial (muy extensa) (Wilhite & Svoboda, 2000; Mishra & Singh, 2010).

Según Trambauer, *et al.*, (2013), las sequías se clasifican en sequías meteorológicas, es decir, periodos de tres meses o más en que la precipitación mensual es significativamente menor al promedio de los años anteriores; sequías hidrológicas, producidas por un periodo prolongado de baja precipitación que afecta la disponibilidad de agua requerida por los habitantes de una región; sequías agrícolas que ocurren en cultivos donde existe un desequilibrio entre la cantidad de agua que demandan y su disponibilidad, y, por último, sequías socioeconómicas, producto de la relación de la demanda y la oferta de un bien económico con elementos hidrometeorológicos.

El análisis y la predicción de las sequías se convierten hoy en una herramienta clave y necesaria para la planeación y el manejo del recurso hídrico, debido a que su impacto afecta la calidad y la disponibilidad del agua, además de acelerar los procesos de erosión, generar pérdidas económicas y de cultivos, y afectar la seguridad alimentaria. Este desastre genera el mayor número de damnificados, con impactos no estructurales que afectan grandes áreas geográficas (Mishra & Singh, 2010; Mishra & Singh, 2011). En 1974, por ejemplo, la sequía en Sudán y Etiopía ocasionó la muerte de 450.000 personas y, más recientemente, en el 2011, la sequía en Somalia generó una crisis humanitaria que puso en peligro a 10 millones de personas (Vicente-Serrano, *et al.*, 2012). Para citar un caso colombiano reciente, la sequía ocurrida en el departamento del Casanare dejó una gran mortandad de animales.

Los sistemas de alerta temprana de sequías

A nivel mundial, los sistemas de alerta temprana de sequías se encuentran poco desarrollados. Sin embargo, se destacan el sistema de información y alerta mundial de la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO-GIEWS), y el del Centro de Investigación de Peligros Benfield, de la Universidad de Londres. Estas instituciones facilitan información sobre las sequías a nivel mundial a través de reportes y mapas interactivos. Además, la página de Internet de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2013) ofrece información importante sobre los niveles de precipitación, la nubosidad y las predicciones climáticas (UNEP-GEAS, 2012). En la tabla 1 se presentan ejemplos de los sistemas de alerta temprana de sequías más destacados.

Predicción de las sequías

De acuerdo con Mishra & Singh (2011), los componentes de la predicción de sequías son los siguientes.

Tabla 1. Ejemplos de los principales sistemas de alerta temprana de sequías

SAT*	Lugar	Productos / Métodos	Sitio de Internet
SAT para la hambruna (FEWS, 2010)	Este de África, Afganistán y Centro-américa	Condiciones de sequía a través de boletines mensuales para las regiones	http://www.fews.net/Pages/default.aspx?l=es
U.S. Drought Monitor (2000)	Estados Unidos	Mapa interactivo con las condiciones y pronósticos de sequía. Integra múltiples indicadores, con información de campo y de expertos. Su calidad y desempeño se consideran excelentes (Svoboda, <i>et al.</i> , 2002)	http://droughtmonitor.unl.edu/
Centro Climático de Beijing (BBC, 2003)	China	Mapas y reportes diarios de las condiciones de sequía generados a partir de la información de sensores remotos del Centro Meteorológico Nacional de Satélites y de la red de estaciones que monitoriza las precipitaciones y la humedad del suelo	http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/pred/en_cs.php
Observatorio Europeo para la Sequía (EDO, 2013)	Europa	Reportes, series de tiempo, catálogo de metadatos y mapas interactivos de la situación y el pronóstico de sequías, y evaluación de algunos índices de para emitir predicciones.	http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000
Observatorio Chileno Agroclimático (2013)	Chile	Conjunto de mapas y figuras con las condiciones de sequía y proyecciones para la región. Se basa en el sistema de datos del Instituto Internacional de Investigación para el Clima y la Sociedad (IRI) y en los datos sobre precipitación (déficit y superávit), además de los niveles de los ríos y las condiciones de la vegetación.	http://www.climatedatalibrary.cl/UNEA/maproom/
Observatorio Nacional de la Sequía (ONS, 2014)	España	Mapas, informes y planes especiales para enfrentar sequías, demarcación de cuencas hidrográficas, planificación y gestión de sequías, generados mediante la integración de las instituciones españolas con competencia en el tema del agua.	http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/

1. Variables de entrada, las cuales incluyen:

- variables hidrometeorológicas asociadas a las precipitaciones, los flujos de corrientes, los niveles de agua subterránea y la humedad del suelo;
- índices de sequía, entre los cuales los más usados son el índice de sequía de Palmer (PDSI) (Palmer, 1965), los deciles (Gibbs & Maher, 1967), el índice de humedad del cultivo (CMI) (Palmer, 1968), el índice de suministro de agua superficial (SWSI) (Shafer & Dezman, 1982), el índice de precipitación estandarizado (SPI) (McKee, *et al.*, 1993), el índice de sequía de recuperación (RDI) (Weghorst, 1996), y el índice de sequía perpendicular (Ghulam, Qin & Zhan, 2007).
- índices climáticos, que incluye la Oscilación del Sur - El Niño (*El Niño-Southern Oscillation*, ENSO), y tienen en cuenta los índices de temperatura superficial del mar, la Oscilación del Atlántico Norte y las oscilaciones decadales, interdecadales y multidecadales del Pacífico.

2. Una metodología: entre las existentes se destacan el análisis de regresión, el análisis de series de tiempo, los modelos de probabilidad, los modelos de redes neuronales artificiales y los modelos híbridos. Cada una de estas metodologías presenta sus ventajas y limitaciones, pero no existe una metodología estandarizada para la predicción de las sequías.

3. Variables de salida: son predicciones de las sequías a largo plazo, que deben contar con los posibles escenarios de impacto, con los periodos de inicio y terminación, y, además, con la probabilidad de ocurrencia.

A pesar de lo anterior, la predicción de las sequías se ve dificultada por la imprecisión en la determinación de su inicio y de las diferentes etapas e intensidades del fenómeno hidrometeorológico (Mishra & Singh, 2011).

Las inundaciones

Las inundaciones son una amenaza constante y constituyen un fenómeno que se desencadenan de forma rápida y repentina (UNEP-GEAS, 2012). Representan una de las amenazas más frecuentes y de mayor gravedad a nivel mundial y anualmente causan miles de muertes y millones de dólares en pérdidas económicas por daños (Chandrasekar & Cifelli, 2012). Las inundaciones se asocian a precipitaciones extremas (Ren, *et al.*, 2010) y pueden generarse en los ríos, cuyo caudal aumenta debido a la lluvia o la nieve derretida, o ser producto de las fuertes mareas durante las tormentas, o del incremento en el nivel del mar debido al cambio climático (Kundzewicz, 2002).

Sistemas de alerta temprana de inundaciones

Entre los sistemas de alerta temprana de inundaciones se destacan los siguientes a nivel mundial.

- Sistema de Alerta Global para las Inundaciones (**GFAS**, 2006) (<http://gfas.internationalfloodnetwork.org/gfas-web/>), el cual ofrece información muy útil de libre acceso, realiza predicciones y lanza alertas. Cuenta con mapas que muestran la información sobre las precipitaciones por periodos y hace seguimiento y monitorización de algunos ríos, embalses y lagunas.
- El observatorio de inundaciones de Dartmouth (<http://floodobservatory.colorado.edu/>), que ofrece estimaciones de las precipitaciones, así como imágenes satelitales e información de las principales inundaciones, sin embargo, no muestra pronósticos de las precipitaciones o de las inundaciones (**Dartmouth Flood Observatory**, 2010).

A nivel regional se encuentran los siguientes sistemas.

- Sistema Europeo de Alerta de Inundaciones (**EFAS**, 2010) (<http://www.efas.eu/>), el cual ofrece información sobre la posibilidad de inundación de los ríos con tres días de anticipación. Además, proporciona una visión general de las principales inundaciones.
- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (**NOAA**, 1970) (<http://www.noaa.gov/>), que ofrece observaciones y predicciones de las condiciones hidrológicas de los principales afluentes de Estados Unidos. También ofrece información sobre lluvias que pueden generar inundaciones rápidas con seis horas de anticipación.
- Sistema de Alerta Temprana para Centroamérica (**SATCA**, 2007) (<http://www.satcaweb.org/>), el cual recopila la información hidrometeorológica de las instituciones globales y regionales encargadas de monitorizar los fenómenos atmosféricos, con el fin de fortalecer la capacidad de anticipar los desastres naturales en Centroamérica.
- El proyecto de la Unión Europea HYDRATE (www.hydrate.tesaf.unipd.it), que basa sus predicciones en la medición y análisis de la humedad del suelo y emplea modelos hidrológicos distribuidos. En su metodología recomienda combinar una guía para las inundaciones repentinas con el método de umbral de escorrentía y el índice de diagnóstico de crecidas repentinas (*Flash Flood Diagnostic Index*, FFDI) (**Borga, et al.**, 2011).

Predicción de las inundaciones

Los requisitos para establecer un sistema de predicción de inundaciones son contar con un sistema remoto (radar o satélite), un sistema para la detección de las precipitaciones, modelos de predicción hidrológica e indicadores de predicción numérica, así como la capacidad de generar pronósticos confiables (**Collier**, 2007). Uno de los métodos más usados para la predicción de las inundaciones es el consignado en la guía para las inundaciones repentinas

(*Flash Flood Guidance*, FFG) (**Mogil, et al.**, 1978). La FFG puede emitir alertas con 1 a 24 horas de anticipación y la conforman principalmente tres elementos:

1. el modelo para el cálculo continuo de la humedad del suelo;
2. los cálculos de la FFG, y
3. las condiciones mínimas de la inundación (**Norbiato & Dinale**, 2009).

Otro método muy usado en la actualidad es la predicción numérica del tiempo (*numerical weather prediction*, NWP), conocida como sistema de predicción por conjunto (*ensemble prediction system*, EPS), el cual se recomienda cuando los datos de los caudales aguas arriba no están disponibles o los equipos de transmisión de datos fallan (**Cloke & Pappenberger**, 2009).

En general, los diferentes métodos para la predicción de inundaciones se pueden agrupar de la siguiente manera (**Plate**, 2007).

- Grupo A: son métodos con un enfoque de predicción directa que emplean modelos deterministas, incluidos los modelos de precipitación-escorrentía y curvas de descargas.
- Grupo B: comprende aquellos métodos que necesitan series de tiempo muy largas con modelos hidrológicos complejos y con grandes variaciones en la distribución de las precipitaciones; generalmente incorporan la incertidumbre y utilizan el método de Monte Carlo para calcular las desviaciones de los datos reales y de los pronósticos.
- Grupo C: son los métodos que a partir de las condiciones iniciales generan hidrogramas de respuesta que emplean datos históricos y no requieren un modelo.
- Grupo D: estos métodos representan una mejora con respecto a los del grupo B debido a que no necesitan procedimientos extensos de cálculo. Son adecuados para cuencas pequeñas.
- Grupo E: son métodos tradicionales que se emplean en los grandes ríos y utilizan análisis de regresión para la medición aguas arriba y aguas abajo. Se recomiendan cuando no hay linealidad, pero sí muchas entradas de afluentes o mucha lluvia en la cuenca.

Existen muchos otros modelos para la predicción de las inundaciones, sin embargo, la mayoría se basa en una formulación de la precipitación-escorrentía muy parecida. Las principales diferencias entre estos modelos son la complejidad de los procesos y el número de parámetros necesarios para su aplicación (**Werner, et al.**, 2005). Algunos de los modelos más comunes son el TOPKAPI (**Liu & Todini**, 2002), el LISFLOOD (**De Roo, et al.**, 2000),

los modelos de precipitación-escurrentía y los sistemas de modelación matemática como el MIKE (**Göppert, et al.**, 1998).

Uno de los aspectos más difíciles de la predicción de inundaciones es la estimación precisa de las precipitaciones, lo que normalmente se hace con medidores de lluvia (**Georgakakos & Hudlow**, 1984; **Moore, Bell & Jones**, 2005). En los últimos años se ha incrementado el uso de sensores remotos, como los radares, que permiten muestrear una mayor área en periodos cortos, suministran información sobre los movimientos y la evolución de las precipitaciones, y emiten la alerta con más antelación (**Chandrasekar & Cifelli**, 2012). Aun así, la falta de exactitud y el nivel de incertidumbre de la mayoría de los pronósticos de precipitación son muy grandes (**Borga, et al.**, 2011) debido a la rápida aparición y la dispersión espacial de este fenómeno. La predicción de las inundaciones se ve limitada por la simplificación de las condiciones presentes y la incertidumbre de los modelos hidrológicos. Es por ello que se recomienda hacer investigaciones que hagan más énfasis en aquellos lugares donde no hay ningún tipo de medición hidrometeorológica. De todas maneras, se destaca el potencial de la nueva generación de modelos de pronóstico de inundaciones basados en datos distribuidos sobre una cuadrícula (**Moore, Bell & Jones**, 2005; **Borga, et al.**, 2011).

La gestión del riesgo y los sistemas de alerta temprana en Colombia

Colombia no es la excepción frente al incremento de los desastres naturales en el mundo. **Cardona, et al.**, (2004) presentan un listado descriptivo, con la estimación de las pérdidas y la cuantificación de los costos de los distintos desastres naturales en el territorio colombiano desde 1979 hasta el 2004. Recientemente, el fenómeno de La Niña durante el 2010 y el 2011 dejó pérdidas económicas, daños en la infraestructura y víctimas mortales que evidenciaron las deficiencias de la gestión del riesgo y la necesidad de fortalecer los sistemas de alerta temprana en el país (**Campos, et al.**, 2012).

Antes de describir los actuales sistemas de alerta temprana de Colombia, es necesario referirse a la gestión del riesgo, concepto que ha evolucionado constantemente desde la creación del Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres en 1989, que recientemente adoptó el nombre de Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) a través de la Ley 1523 de 2012. Dicho sistema es operado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD), encargada de dirigir la implementación de la gestión del riesgo de desastres y de coordinar el funcionamiento y el desarrollo continuo del sistema (Figura 2). Es importante destacar, además, que la política de gestión del riesgo en Colombia se ajusta a los

lineamientos de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR), así como al Marco de Acción de Hyogo (UNGRD, 2012).

Los sistemas de alerta temprana se han venido desarrollando de manera paralela. La primera experiencia en este sentido fue en 1976, con el Servicio Colombiano de Hidrología y Meteorología (SCMH), el cual se basaba en el modelo Sacramento y operaba con tarjeta perforada para procesar la información proveniente de radios y teléfonos. Este sistema suministraba datos cuantitativos y daba apoyo a los organismos de socorro en la temporada invernal (**Domínguez, Angarita & Rivera**, 2010). En la actualidad, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) presenta un informe técnico diario de alertas ambientales de origen hidrometeorológico y genera comunicados especiales para los eventos extraordinarios. Estos pronósticos se basan en dos modelos de mesoescala: el modelo de *Weather Research and Forecasting* (WRF) y el modelo de mesoescala y microescala V5 (MM5). Ambos utilizan como insumo los datos iniciales suministrados por el modelo de baja resolución de la NOAA, conocido como GFS (*Global Forecast System*). Con dichos modelos se generan las predicciones climáticas para las regiones naturales (Caribe, Pacífico, Andina, Insular, Orinoquia y Amazonia) a corto (mes actual), mediano (uno y dos meses siguientes) y largo plazo (tres a cinco meses siguientes), y en cada una de ellas se incluye la probabilidad de ocurrencia de los fenómenos macrolimáticos (Niña/Niño), y la información sobre los niveles de los ríos (cuencas de los ríos Magdalena, Cauca, San Jorge, Sinú, Atrato, Meta, Arauca y Amazonas), e información sobre la precipitación, los deslizamientos y los incendios (**IDEAM**, 2008; **Ruíz**, 2014). Dichos pronósticos se pueden consultar en la página web del IDEAM: <http://pronosticos.ideam.gov.co/jsp/index.jsf>.

Además de este sistema nacional, en varias regiones de Colombia se han venido desarrollando sistemas de alerta temprana locales. A continuación presentamos los principales ejemplos.

1. *Sistema de alerta temprana del Distrito Capital de Bogotá*: este se articula a través de la acción de un amplio conjunto de entidades públicas, recientemente agrupadas para conformar el Sistema Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático (SDGR-CC) mediante el acuerdo 546 de 2013, el cual creó, así mismo, el Fondo Distrital para la Gestión de Riesgo y Cambio Climático (FONDIGER). El SDGR-CC está conformado por todos los organismos y entidades públicas del ámbito nacional y regional con jurisdicción en el Distrito Capital, así como por las organizaciones privadas con o sin ánimo de lucro y las organizaciones comunitarias y ciudadanas. La institución distrital encargada del sistema es el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER),

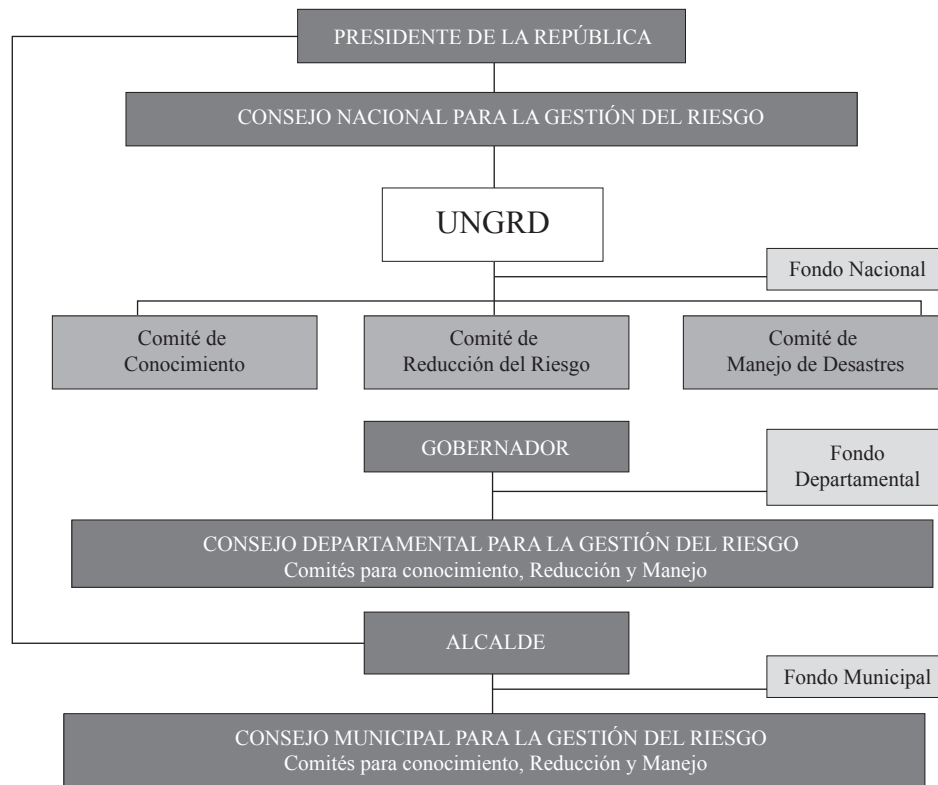


Figura 2. Estructura de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) (con base en: UNGRD, 2014)

conocido anteriormente como Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE). La información correspondiente se puede consultar en el Sistema de Información para la Gestión del Riesgo y Atención de Emergencias (SIRE- <http://www.sire.gov.co/>), cuyo objetivo es facilitar la gestión del riesgo y la atención de emergencias en el Distrito Capital. Este sistema de alerta temprana está conformado por la Red de Acelerógrafos de Bogotá (RAB), la cual registra las aceleraciones que se producen en el terreno cuando se presentan sismos y cuenta con 30 acelerógrafos digitales marca KINEMETRICS distribuidos en toda el área urbana de la ciudad; de estos aparatos, 28 son modelo ETNA y los dos restantes son modelo K2. Además, existe la Red Hidrometeorológica de Bogotá (RHB), la cual consta de 27 estaciones para el monitoreo de las variables hidrometeorológicas y los niveles de los ríos ubicados en el perímetro urbano; las estaciones funcionan 24 horas al día los 365 días del año. Los equipos cuentan con sistemas automáticos de registro, almacenamiento y transmisión de la información a la base del IDIGER, donde es analizada y utilizada para generar alertas a la comunidad (SIRE, 2014). Otro elemento importante es el Sistema de Información Sísmica Básica (Sisbog-Daño). Este es un sistema de cómputo especializado en el análisis de daños tras la ocurrencia

de un terremoto y tiene las siguientes funciones: a) visualización de toda la información básica general de la ciudad; b) evaluación de la respuesta dinámica de los suelos en la superficie; c) evaluación aproximada de los daños en todas las edificaciones de la ciudad, y d) envío de informes a los tomadores de decisiones y a los diferentes medios de comunicación (Bernal, 2009).

2. *Sistema de Alerta Temprana Ambiental (SIATA)*: este sistema tiene como área de influencia la ciudad de Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y cuenta, además, con el apoyo y los aportes de las Empresas Públicas de Medellín (EPM) e ISAGEN. El principal objetivo del SIATA es alertar de manera oportuna a la comunidad sobre la probabilidad de ocurrencia de un evento hidrometeorológico extremo que pueda generar una situación de emergencia. Para ello monitoriza constantemente las variables atmosféricas, las cuencas y las laderas de la región. La principal característica del SIATA es su enfoque basado en sistemas, es decir, divide un sistema complejo en varios subsistemas con una posterior integración, hecho que se ve reflejado en la diferentes redes que lo conforman, entre las que se encuentran la red hidrometeorológica, conformada por 66 estaciones pluviométricas, 15 de las cuales monitorizan variables

meteorológicas (temperatura, humedad relativa, presión, dirección y velocidad del viento); la red de sensores de nivel, que toma los datos de humedad, temperatura y conductividad eléctrica en el suelo y está conformada por 30 sensores de humedad; la red de cámaras en vivo (*live streaming*), conformada por siete cámaras; tres radares, uno en el Área Metropolitana (en Santa Elena) y dos de la Aerocivil ubicados en Corozal, Sucre, y el otro en Bogotá, y otras redes como la Red Acelerográfica de Medellín (RAM), la Red Acelerográfica del Valle de Aburrá (RAVA) y la Red de Calidad de Aire del Área Metropolitana. Cada una de las estaciones transmite en tiempo real con el propósito de garantizar el flujo constante de información hacia el servidor, para posteriormente difundirla a través de Twitter, de tutoriales en Youtube y de una página web amigable (<http://siata.gov.co/newpage/index.php>) (SIATA, 2014).

3. *Sistema de alertas agroclimáticas tempranas (SAAT) participativas con organizaciones y familias de custodios indígenas y campesinos de la cuenca alta del río Cauca*: este sistema, ubicado en los municipios de Popayán, Puracé, Sotará y Toto en el departamento de Cauca, tiene como objetivo contribuir al fortalecimiento de capacidades para prevenir los riesgos agroclimáticos a partir de la articulación del conocimiento cultural e institucional y de la construcción participativa. En consecuencia, el eje principal de toda su estructura es la participación de la comunidad representada en las organizaciones campesinas. Como resultado, las comunidades locales conocen el clima, investigan sobre los indicadores biológicos y planifican sus sistemas productivos. La evaluación de las predicciones climáticas internacionales se realizan con base en la información de la NOAA. Para la evaluación de las predicciones climáticas nacionales y regionales se recurre a los pronósticos trimestrales del IDEAM. Por último, tiene en cuenta los indicadores biológicos a nivel comunitario, incluido el conocimiento ancestral de las comunidades indígenas y campesinas (Fundación Pro Cuencas Río Las Piedras, 2013).
4. *Sistema de alerta temprana para la cuenca del río Combeima*: la cuenca del río Combeima se encuentra en la parte centro-occidental del departamento del Tolima, sobre el flanco oriental de la cordillera Central de Colombia; su sistema de alerta temprana tiene como objetivo mitigar el impacto de las inundaciones, los flujos de lodos y avalanchas, los deslizamientos, las erupciones volcánicas y los movimientos del terreno causados por sismos; está conformado por una red de monitorización compuesta por estaciones instaladas y operadas por el IDEAM, y por estaciones automáticas operadas por el Comité Regional de Prevención y Atención de Desastres del Tolima (CREPAD). La monitorización de la sismicidad en el

Volcán Nevado del Tolima se basa en la información del Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS). La información recopilada por las estaciones se transmite a través de una antena repetidora hacia el Centro de Operación del CREPAD, donde posteriormente se analiza la información en tiempo real por medio de la aplicación de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA), y se generan alarmas categorizadas por parámetros, que se visualizan en la aplicación web SAT. Otro componente importante es el sistema de comunicación y alarmas, conformado por una red de comunicaciones constituida por los comités regionales o locales de riesgo, las entidades públicas o privadas y la población de la cuenca del Río Combeima, la cual transmite la información por radio en banda VHF (sistema de voz). (Agencia Suiza para el Desarrollo y COSUDE, 2010).

5. *Sistema acústico de alerta temprana en Bucaramanga*: en el 2012 se instaló en la Comuna 14 de Bucaramanga un bloque de perifoneo que se activa inalámbicamente desde el Comité Municipal de Gestión y Riesgo cuando se registran datos extremos en los instrumentos de medición. La señal sonora tiene un radio aproximado de 2 km a la redonda y permite proteger la vida de 100 mil habitantes de ocho barrios y veredas del corregimiento Tres de Bucaramanga (Jerez, 2014).
6. *Sistema de alerta temprana de la Guajira*: este es coordinado por CORPOGUAJIRA en convenio con la Cruz Roja, y su objetivo son las inundaciones y deslizamientos; presenta una descripción de las condiciones climáticas para el departamento y los municipios a través de boletines diarios que se publican en la página web (<http://www.corpoguajira.gov.co/>), con las variables de temperatura mínima, temperatura máxima, viento, humedad, presión atmosférica y punto de rocío.

A continuación se describen otros sistemas de alerta temprana que hoy se encuentran en la fase de implementación.

1. *Sistema de alerta temprana para el área metropolitana de Barranquilla*. La ciudad de Barranquilla se caracteriza por tener inundaciones que anualmente ocasionan daños materiales y dejan centenares de damnificados y víctimas mortales. En un esfuerzo por combatir este fenómeno, el Grupo de Investigación en Telecomunicaciones y Señales y el Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales (IDHEA) de la Universidad del Norte vienen desarrollando un sistema de alerta temprana desde el 2012. Hasta la fecha solamente se han instalado algunos pluviómetros, sin embargo, se espera que en los próximos años se cuente con sensores de nivel para los arroyos, modelos hidrológicos e hidráulicos y una plataforma en Internet de acceso libre que recibirá y publicará la información enviada por los pluviómetros y sensores. Además, con el propósito de

fortalecer la gestión del riesgo en el departamento de Atlántico, se espera instalar un sensor remoto ambiental basado en un radar polarimétrico Doppler de banda X, con una frecuencia de 9,41 Ghz, potencia pico de 8 KW y un radio de cobertura de 40 km. Durante la implementación y el desarrollo del sistema se involucrará a las comunidades en la creación de un sistema de comunicación (Acosta, 2013).

2. *El Sistema de alerta temprana de Norte de Santander.* La implementación del sistema comenzó en el 2013 con el objetivo de prevenir a los habitantes de las cuencas de los ríos Zulia y Pamplonita sobre la posibilidad de ocurrencia de eventos climáticos extremos. El proyecto busca generar información en tiempo real para analizar y articular las actividades de prevención en 19 municipios del departamento de Norte de Santander, incluida la ciudad capital Cúcuta. El sistema podrá detectar los eventos de inundación con seis horas de anticipación (Vejarano, 2013).

Recomendaciones para el trabajo de los sistemas de alerta temprana en Colombia

La búsqueda de la información presentada se hizo en Google y en bases de datos científicas (ScienceDirect, Scielo, SpringerLink y Scopus), lo que evidenció que en Colombia las estadísticas y la información científica y confiable sobre estos aspectos es escasa y de acceso limitado. Solamente el SIATA y el SAT de Bogotá, Distrito Capital, a través del SIRE, ofrecen una página web con acceso a información hidrometeorológica en tiempo real. Se destaca, igualmente, la página web de alertas y pronósticos del IDEAM, la cual ofrece a los usuarios alertas y pronósticos actualizados. La situación opuesta es la del sistema de alerta temprana para la cuenca del río Combeima, que a juzgar por la extensa presentación contenida en el documento de la **Agencia Suiza para el Desarrollo y COSUDE** (2010), sería de una alta calidad. Sin embargo, dicha presentación se pone en duda al momento de querer verificar la información, pues la página web está desactualizada. Lo mismo ocurre con el SAAT para la cuenca alta del río Cauca, que solo presenta los resultados del proyecto en el documento “Fundación Pro Cuencas Río Las Piedras” (2013). Esta situación se repitió con los demás sistemas de alerta temprana locales, por lo que se hace evidente la necesidad de una mayor divulgación a través de publicaciones científicas y páginas web que reflejen los resultados y el funcionamiento de cada uno de ellos.

Los cuatro elementos que las Naciones Unidas recomiendan (UNISDR, 2006), están presentes solamente en los SIATA y SAT del Distrito Capital. Sin embargo, ninguno de los sistemas ofrece información de libre acceso sobre las alertas anticipadas de inundación, el número de eventos predichos, el tiempo de respuesta de la comunidad ante una emergencia o la confiabilidad de los pronósticos que se emiten. Un

ejemplo es el sistema de alerta temprana de La Guajira, que, aunque emite pronósticos, no da la información sobre cómo lo hace, qué instrumentos de medición emplea, si estos están funcionando correctamente y si los comunicados llegan a la comunidad.

Uno de los aspectos más importantes para poder realizar predicciones confiables son las series de tiempo (Borga, *et al.*, 2011), que, para el caso colombiano, son muy recientes, tienen un alto costo o simplemente no existen en algunos lugares (Domínguez, Angarita & Rivera, 2010). Podemos decir que la efectividad de los sistemas de alerta temprana a nivel nacional se relaciona con la gestión del riesgo a cargo de la UNGRD, por lo que los concejos municipales y departamentales para la gestión del riesgo basan su funcionamiento y sus sistemas de alerta temprana en los pronósticos emitidos por el IDEAM. Infortunadamente, los modelos que utiliza el IDEAM tienen una resolución con la que no es posible anticipar desastres naturales como los vendavales, los tornados o las trombas marinas, debido a que las dimensiones espaciales y la duración de estos eventos son muy pequeñas. Además, hay que tener en cuenta que estos modelos deben usarse con mucha precaución, ya que pueden estar respaldados por datos subestimados, sobrestimados o que representan superficialmente las condiciones de las variables hidrometeorológicas, las cuales muchas veces necesitan de una mayor resolución para realizar una predicción con éxito (Ruíz, 2014).

En los sistemas de alerta de Colombia hace falta más investigación sobre desastres como los tsunamis, que en décadas anteriores han ocasionado grandes pérdidas. En este sentido, Solarte & Agredo (2011) proponen un modelo para la implementación de un sistema de alerta temprana con este énfasis. Es importante resaltar que en Colombia el mayor riesgo lo representan las amenazas sísmicas altas y medias, seguidas por el potencial que tienen las inundaciones y los movimientos en masa (Campos, *et al.*, 2012), por lo que los sistemas en este campo deben estar articulados a sistemas eficientes de comunicación e incluir el manejo del riesgo. La mejor estrategia comprobada a nivel mundial para el manejo de tales amenazas es no tener asentamientos en zonas de alto riesgo; sin embargo, muchas veces esto no es posible, por lo que se debe recurrir a la reubicación y, en otros casos, a realizar obras de infraestructura que protejan o disminuyan el peligro de la comunidad en riesgo (Yamin, *et al.*, 2013). Para este efecto, el sistema de alerta temprana del Distrito Capital ha desarrollado el Sistema Único de Registro de Asentamientos (SURR). Por último, otros elementos que los sistemas de alerta temprana deben incluir son la evaluación y el análisis del riesgo en cada uno de los territorios; una herramienta útil para este propósito es el programa CAPRAS (<http://www.ecapra.org/es/>), que utiliza técnicas probabilistas

para el análisis de las amenazas y las pérdidas causadas por los desastres naturales y ha mostrado excelentes resultados a nivel mundial.

En síntesis, los sistemas de alerta temprana son una herramienta fundamental que debe estar articulada a la predicción de los desastres naturales. Sin embargo, en la mayoría de los casos la aplicación de dichos sistemas presenta deficiencias, por lo que en su desarrollo deben considerarse los aspectos que se mencionan a continuación.

- Nomenclaturas y procedimientos comunes que sirvan de base de la acción y la coordinación entre las diferentes instituciones vinculadas al ámbito de la alerta temprana. La falta de una terminología unificada genera confusión y dificulta la comprensión de los productos de un sistema de alerta temprana en momentos de emergencia.
- La articulación funcional entre los sistemas, es decir, la creación de instancias de trabajo que integren todas las dimensiones de la gestión del riesgo y trabajen con una lógica de sistema, con el fin de disminuir el aislamiento entre unos y otros. En Colombia no existe una comunidad de sistemas de alerta temprana sino muchas y muy variadas entre sí.
- Mejorar la capacidad de difusión de la información e incrementar los esfuerzos y las acciones en las comunidades vulnerables, así como reducir el número de falsas alarmas (**Lenton**, 2013).
- Tener una mayor claridad sobre los beneficios de los sistemas de alerta temprana mediante el uso de indicadores y mediciones económicas que demuestren la necesidad de contar con ellos y su efectividad, con base en la cultura del sistema que propone **Basher** (2006).
- Es necesario reconocer que el funcionamiento de los sistemas de alerta temprana está expuesto a los errores humanos; las deficiencias y dificultades ocurren en la comunicación del riesgo y en la capacidad de respuesta de las comunidades vulnerables (**Basher**, 2006).
- Los sistemas de alerta temprana solo serán eficientes cuando haya libre acceso a la información meteorológica, y para ello es necesario el compromiso político y una mayor capacidad institucional (**UNISDR**, 2009).
- Los sistemas de alerta temprana deben pesar mucho más en el manejo y conservación de los ecosistemas, de manera que contribuyan a que los tomadores de decisiones adopten las medidas necesarias para disminuir los impactos ambientales de los desastres naturales y evitar la pérdida de los servicios de los ecosistemas.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen conflicto de interés.

Bibliografía

- Acosta, M.** 2013. Sistemas de Alerta Temprana (SAT) para la Reducción del Riesgo de Inundaciones Súbitas y Fenómenos Atmosféricos en el Área Metropolitana de Barranquilla. *Scientia et Technica*. **18** (2): 303-308.
- 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.
- Basher, R.** 2006. Global early warning systems for natural hazards: Systematic and people-centered. *Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences*, **364** (1845): 2167-2182.
- BCC.** 2003. Beijing climate center. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: http://cmdp.ncc.cma.gov.cn/pred/en_cs.php.
- Bernal, G.** 2009. Sistema de estimación inmediata del daño post-terremoto para la ciudad de Bogotá. Tesis de Maestría. Universidad de los Andes.
- Birkmann, J., Chang, D. & Setiadi, N.** 2013. Enhancing early warning in the light of migration and environmental shocks. *Environmental Science & Policy*. **27**: S76-S88.
- Borga, M., Anagnostou, E., Blöschl, G., Creutin, J.** 2011. Flash flood forecasting, warning and risk management: The HYDRATE project. *Environmental Science & Policy*. **14** (7): 834-844.
- Campos, A., Holm, N., Díaz, C., Rubiano, D., Costa, C., Ramírez, F., Dickson, E.** 2012. Resumen ejecutivo. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Banco Mundial. Bogotá.
- Cardona, O., Wilches, G., Mansilla, E., Ramírez, F., Marulanda, M.** 2004. Estudio sobre desastres ocurridos en Colombia: estimación de pérdidas y cuantificación de costos. Evaluación de Riesgos Naturales (ERN), Bogotá.
- Chandrasekar, V. & Cifelli, R.** 2012. Concepts and principles of rainfall estimation from radar: Multi-sensor environment and data fusion. *Indian Journal of Radio y Space Physics*. **41**: 389-402.
- Cloke, H.L. & Pappenberger, F.** 2009. Ensemble flood forecasting: A review. *Journal of Hydrology*. **375**: 613-626.
- Collier, C.** 2007. Flash flood forecasting: What are the limits of predictability? *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **133**: 3-23.
- Dartmouth Flood Observatory.** 2010. Space-based Measurement and Modeling of Surface Water. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://floodobservatory.colorado.edu/>.
- Davies, S., Buchanan, S.M. & Lambert, R.** 1991. Early warning in the Sahel and Horn of Africa: The state of the art. A review of the literature. Volume 1 of 3, Research Report No. 20. IDS, Brighton, U.K. Dreeze.
- De Roo, A.P., Wesseling C.G. & Van Dooyen, W.P.** 2000. Physically based river basin modeling within a GIS platform: The model LISFLOOD. *Hydrological Processes*. **14**: 1981-1992.

- Domínguez, E., Angarita, H. & Rivera, H.** 2010. Viabilidad para pronósticos hidrológicos de niveles diarios, semanales y decadales en Colombia. *Ingeniería e Investigación*. **30** (2): 178-187.
- EDO.** 2013. Observatorio Europeo para la Sequía. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000>.
- EFAS.** 2014. European Flood Awareness System. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.efas.eu/>.
- FEWS.** 2010. Famine Early Warning Systems Network. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.fews.net/Pages/default.aspx?l=es>.
- Fundación Pro Cuencas del Río Las Piedras.** 2013. Sistema de alertas agroclimáticas tempranas (SAAT) participativas con organizaciones y familias de custodios indígenas y campesinos de la cuenca alta del río Cauca. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Georgakakos, K. & Hudlow, M.** 1984. Quantitative precipitation forecast techniques for use in hydrologic forecasting. *Bulletin of the American Meteorological Society*. **65** (11): 1186-1208.
- Ghesquiere, F. & Mahul O.** 2010. Financial Protection of the State against Natural Disasters: A Primer. Washington, D.C. World Bank Policy Research Working Papers. Paper 5429.
- Ghulam, A., Qin, Q. & Zhan, Z.** 2007. Designing of the perpendicular drought index. *Environmental Geology*. **52** (6): 1045-1052.
- Gibbs, W.J. & Maher, J.V.** 1967. Rainfall deciles as drought indicators. Commonwealth of Australia, Melbourne. *Bureau of Meteorology Bulletin*. **48**: 33-84.
- GFAS.** 2006. Global Flood Alert System. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://gfas.internationalfloodnetwork.org/gfas-web/>.
- Göppert, H., Ihringer, J., Plate, E.J., Morgenschweis, G.** 1998. Flood forecast model for improved reservoir management in the Lenne River catchment, Germany. *Hydrological Sciences Journal*. **43**: 215-242.
- Grasso, V. F., Beck, J.L., & Manfredi, G.** 2007. Automated decision procedure for earthquake early warning. *Engineering Structures*. **29** (12): 3455-3463.
- Hall, P.** 2007. Early Warning Systems: Reframing the discussion. *The Australian Journal of Emergency Management*. **22** (2): 32-36.
- Hansen, J.W., Mason, S.J., Sun, L., Tall, A.** 2011. Review of seasonal climate forecasting for agriculture in Sub-Saharan Africa. *Experimental Agriculture*. **47**: 205-240.
- IDEAM.** 2008. Protocolo para la emisión de los pronósticos hidrológicos. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Intrieri, E., Gigli, G., Mugnai, F., Fanti, R., Casagli, N.** 2012. Design and implementation of a landslide early warning system. *Engineering Geology*. **147**: 124-136.
- Jerez, N.** 2014. Sistema acústico de alerta temprana instalado en la comuna 14 monitorea y previene sobre riesgos naturales. Oficina asesora de prensa. Alcaldía de Bucaramanga.
- Krzysztofowicz, R.** 2001. The case for probabilistic forecasting in hydrology. *Journal of Hydrology*. **249**: 2-9.
- Kundzewicz, Z. W., Budhakooncharoen, S., Bronstert, A., Hoff, H., Lettenmaier, D., Menzel, L., Schulze, R.** 2002. Coping with variability and change: Floods and droughts. *Natural Resources Forum*. **26** (4): 263-274.
- Liu, Z., & Todini, E.** 2002. Towards a comprehensive physically-based rainfall-runoff model. *Hydrology and Earth System Sciences*. **5**: 859-881.
- Lenton, T. M.** 2011. Early warning of climate tipping points. *Nature Climate Change*. **1** (4): 201-209.
- Lenton, T. M.** 2013. What early warning systems are there for environmental shocks? *Environmental Science y Policy*. **27**: S60-S75.
- Maskrey, A.** 1997. Early Warning Programme Report on National and Local Capabilities for Early Warning. IDNDR Secretariat, Geneva.
- Mckee, T.B., Doeskin, N.J. & Kleist, J.** 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Proc. Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Boston. Pp. 233-236.
- Medina-Cetina, Z. & Nadim, F.** 2008. Stochastic design of an early warning system. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*. **2**: 223-236.
- Meza, F.J., Hansen, J.W. & Osgood, D.** 2008. Economic value of seasonal climate forecasts for agriculture: Review of ex-ante assessments and recommendations for future research. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. **47**: 1269-1286.
- Mishra, A. K. & Singh, V.P.** 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*. **391** (1-2): 202-216.
- Mishra, A.K. & Singh, V.P.** 2011. Drought modeling – A review. *Journal of Hydrology*. **403**: (1-2): 157-175.
- Mogil, H. M., Monro, J.C. & Groper, H.S.** 1978. NWS's flash flood warning and disaster preparedness programs. *Bulletin of the American Meteorological Society*. **59**: 690-699.
- Moore, R. J., Bell, V.A. & Jones, D.A.** 2005. Forecasting for flood warning. *Comptes Rendus Geoscience*. **337** (1-2): 203-217.
- NOAA.** 1970. National Oceanic and Atmospheric Administration. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.noaa.gov/>.
- Norbiato, D. & Dinale, R.** 2009. Flash flood warning in ungauged basins by use of the flash flood guidance and model-based runoff thresholds. *Meteorological Applications*. **16**: 65-75.
- ONS.** 2012. Observatorio Nacional de la Sequía. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/>.

- Observatorio Chileno Agroclimático.** 2013. Monitoreo de Sequía. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.climatedatalibrary.cl/UNEA/maproom/>
- Ocharan, J.** 2007. Sistemas de Alerta Temprana. Fotografía actual y retos futuros. Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano. **6**: 39-43.
- OMM.** 2013. Organización Meteorológica Mundial. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/index_es.html.
- Palmer, W.C.** 1965. Meteorological drought. Research Paper, vol. 45. U.S. Washington, D.C: Department of Commerce Weather Bureau.
- Palmer, W.C.** 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The crop moisture index. *Weatherwise*. **21** (4): 156-161.
- Plate, E. J.** 2007. Early warning and flood forecasting for large rivers with the lower Mekong as example. *Journal of Hydro-environment Research*. **1** (2): 80-94.
- Ren, M., Wang, B., Liang, Q. & Fu, G.** 2010. Classified real-time flood forecasting by coupling fuzzy clustering and neural network. *International Journal of Sediment Research*. **25** (2): 134-148.
- Ruíz, F.** 2014. ¿Cómo interpretar los modelos de pronóstico del estado del tiempo? Subdirección de Meteorología. IDEAM.
- SATCA.** 2007. Sistema de Alerta Temprana para Centroamérica. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.satcaweb.org/alertatemprana/inicio/satcaweb.aspx>.
- Shafer, B.A. & Dezman, L.E.** 1982. Development of a surface water supply index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. Proc. 50th Annual Western Snow Conference, Colorado State University, Fort Collins, USA.
- SIATA.** 2014. Sistema de Alerta Temprana Ambiental. Fecha de consulta: 20 de julio. Disponible en: <http://www.siata.gov.co/newpage/index.php>.
- SIRE.** 2014. Sistema Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.sire.gov.co/>.
- Solarte, P. & Agredo, G.** 2011. Design of an early warning system to detect tsunamigenic events associated with the extreme tide level changes in the Colombian pacific coast. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*. **1** (17): 40-47.
- Svoboda, M., LeComte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Ángel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., Miskus, D., Stephens, S.** 2002. The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society*. **83** (8): 1181-1190.
- Trambauer, P., Maskey, S., Winsemius, H., Werner, M., Uhlenbrook, S.** 2013. A review of continental scale hydrological models and their suitability for drought forecasting in (sub-Saharan) Africa. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*.
- UNEP & GEAS.** 2012. Early Warning Systems: A State of the Art Analysis and Future Directions. *Environmental Development*. **4**: 136-171.
- UNISDR.** 2009. Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Naciones Unidas. Ginebra, Suiza. 38 pp.
- UNGRD.** 2012. Líneas estratégicas y avances en priorización de zonas de intervención. Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres. Bogotá.
- UNGRD.** 2014. Estructura del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastre. Fecha de consulta: 22 de julio de 2014. Disponible en: <http://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Paginas/Estructura.aspx>.
- UNISDR.** 2013. Milestones in the History of Disaster Risk Reduction. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.unisdr.org/who-we-are/history#idndr>
- UNISDR.** 2006. Global Survey of Early Warning Systems. United Nations Report. Ginebra, Suiza. 46 pp.
- UNISDR.** 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.unisdr.org>.
- UNISDR.** 2009. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.unisdr.org/we/inform/publications/657>.
- U.S. Drought Monitor.** 2000. United States Drought Monitor. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://droughtmonitor.unl.edu/>
- Vejarano, A.** 2013. El proyecto de sistema de alerta temprana en las cuencas de los ríos Zulia y Pamplonita, Norte de Santander. Fecha de consulta: 20 de julio de 2014. Disponible en: <http://www.institut-gouvernance.org/es/experiencia/fiche-experienca-38.html>.
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., Gimeno, L., Eklundh, L., Giuliani, G., Weston, D., Pegram, G.G.** 2012. Challenges for drought mitigation in Africa: The potential use of geospatial data and drought information systems. *Applied Geography*. **34**: 471-486.
- Weghorst, K.** 1996. The reclamation drought index: Guidelines and practical applications. Denver, Colorado: Bureau of Reclamation.
- Werner, M.G., Schellekens, J., & Kwadijk, J.C.** 2005. Flood Early Warning Systems for Hydrological (sub-) Catchments. Wiley, UK: Encyclopedia of Hydrological Sciences. 3456 pp.
- Wilhite, D. A. & Svoboda, M.D.** 2000. Drought Early Warning Systems in the Context of Drought Preparedness and Mitigation. En: Donald A. Wilhite, M.V.K. Sivakumar y Deborah A. Wood (Editores). *Early Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management*. Proceedings of an Expert Group Meeting held in Lisbon, Portugal, 5-7 September 2000 (pp. 1-21). Ginebra, Suiza: World Meteorological Organization.
- Yamin, L. E., Ghesquiere, F. & Ordaz, M. G.** 2013. Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastre. El caso de Bogotá, Colombia. Bogotá. Banco Mundial y Universidad de los Andes.