



## Uso de radares meteorológicos como herramienta para la Gestión del Riesgo y monitoreo dentro de los Sistemas de Alerta Temprana (SAT)

Por **James Copete**

*Subdirección para el Conocimiento del Riesgo*

El estudio de las precipitaciones es básico dentro de cualquier estudio hidrológico para cuantificar los recursos hídricos, puesto que constituye la principal (en general la única) entrada de agua a una cuenca, y es fundamental en la previsión de crecientes; en el diseño de obras de acueductos y alcantarillados; de plantas de tratamiento de aguas residuales; en análisis de balance hídrico; entre otros.

En este sentido, los sistemas y tecnologías empleados para la estimación de la precipitación deben ser adecuadamente calibrados y validados para su implementación, ya que la interpretación de los registros que de ellos se obtengan son la herramienta esencial para la toma de decisiones en el manejo del drenaje urbano y en la prevención de calamidades naturales en una ciudad, como: inundaciones, desbordamientos de ríos y deslizamientos de tierras, principalmente.

Monitorear detalladamente la precipitación requiere integrar diferentes tecnologías, las cuales lejos de ser excluyentes entre sí, son complementarias. Sin embargo, las redes pluviométricas, no logran identificar la estructura espacial de los sistemas convectivos que se presentan en diferentes lugares del territorio nacional, por ejemplo, en la Sabana de Bogotá y la resolución espacio-temporal de la información satelital no permite el ver detalladamente la formación y evolución de los eventos de meso-escala. Para ello, los radares meteorológicos son ideales, ya que detectan con alta frecuencia y alta resolución espacio-temporal el volumen atmosférico que permite informar a nivel local sobre la ocurrencia de precipitación.

La implementación de redes de radares meteorológicos ha cambiado el paradigma del monitoreo en tiempo real de las condiciones hidrometeorológicas de una región determinada. Dados los beneficios espacio-temporales de los radares meteorológicos para convertir señales de radar en información útil para la estimación de tasas de precipitación (Hong & Gourley, 2015), se hace necesario un proceso cuidadoso de consideración de los procesos que intervienen en el monitoreo y estimación de la precipitación.

Una estimación cuantitativa de la precipitación requiere de una caracterización precisa de la microfísica de la precipitación (Cao, 2008). Según Ladino (2017), para realizar una



caracterización de la microfísica de la precipitación se hace necesario conocer detalladamente la distribución del tamaño de gotas de lluvia – DSD (por sus siglas en inglés de *Drop Size Distribution*) (Zhang et al, 2001).

Por ello, a través de la historia se han propuesto diferentes modelos de DSD como: Marshall-Palmer (1948), exponencial, gamma (Ulbrich, 1983), gamma restringido (Zhang et al, 2001; Cao et al, 2008) entre otros. Estos modelos de DSD han permitido caracterizar la microfísica de la precipitación arrojando sus propias ventajas y desventajas sobre la estimación cuantitativa de la precipitación.

Con la incorporación de radares de doble polarización, o también llamados radares polarimétricos, la comunidad científica ha desarrollado métodos empíricos para la estimación de la precipitación a partir de variables polarimétricas.

Modelos como precipitación en función de la reflectividad (Z-R), precipitación en función de reflectividad, reflectividad diferencial (R - Z, ZDR) y precipitación en función del diferencial específico de fase (R - KDP), son usualmente derivados del análisis de la regresión de la información de radar y de pluviómetros o simulaciones numéricas. Estas relaciones fijas empíricas arrojan resultados valiosos en la estimación cuantitativa de la precipitación, pero su precisión para estimación de varios tipos de lluvia puede no ser la más acertada (Zhang et al 2001).

La importante variabilidad espacio-temporal de las lluvias intensas que originan desastres es difícil de captar a partir de los sistemas tradicionales. Actualmente, países como: España; Estados Unidos; México; Brasil; Argentina; Panamá; Cuba; entre otros, han desarrollado a nivel operacional sistemas de radares meteorológicos debidamente calibrados y han logrado integrarlos como herramientas para la Gestión del Riesgo.

Actualmente (2022) Colombia cuenta con una red de **10** radares meteorológicos operados por cuatro (4) entidades; la Aeronáutica Civil con 4 radares ubicados de la siguiente manera: un primer radar de banda X en el aeropuerto Simón Bolívar (Pasto) en el municipio de Chachagüí (Nariño); un segundo radar de banda C en el cerro de el Tablazo municipio de Subachoque (Cundinamarca); el tercero de banda C en el aeropuerto Las Brujas en el municipio de Corozal (Sucre); y el cuarto radar de banda C en el aeropuerto Gustavo Rojas Pinilla de la isla de San Andrés.

El IDEAM cuenta con 4 radares banda C ubicados así: el de San José del Guaviare (Guaviare) instalado en predios del batallón Joaquín París; El de Barrancabermeja (Santander) emplazado en el corregimiento del Centro en Predios de Ecopetrol; El de Cerro Munchique en el municipio del Tambo (Cauca) y el de Carimagua – Puerto Gaitán (Meta) ubicado dentro del aeropuerto militar de Carimagua.

# Conocimiento



Así mismo, el Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA), cuenta con un radar meteorológico de banda C instalado en el corregimiento de Santa Elena, municipio de Medellín (Antioquia) y el Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático (IDIGER) tiene un radar meteorológico banda X ubicado en las instalaciones de la entidad (Bogotá D.C) . En la Figura 1 se muestra la ubicación y alcance de los radares meteorológicos de Colombia.

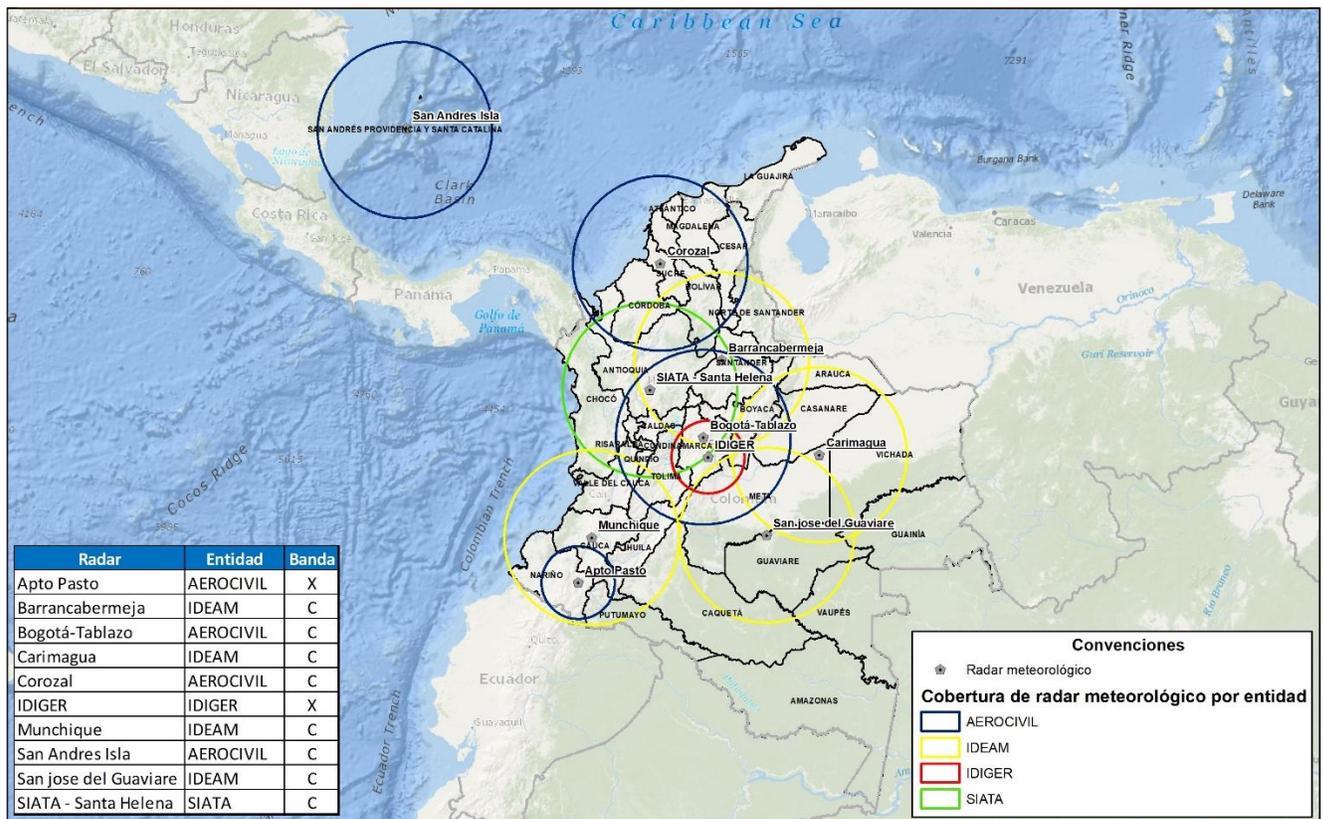


Figura 1 :ubicación Red Nacional de Radares Meteorológicos UNGRD.

En general, un sensor de tipo radar es capaz de producir mejores estadísticas de ocurrencia para los fenómenos naturales como huracanes, lluvias, granizo, etc. Por esta razón este ejemplar de sensor es ampliamente utilizado en meteorología para localizar precipitaciones, calcular sus trayectorias y evaluar su tipo (lluvia, nieve, granizo, etc.).

Adicionalmente, permite analizar datos tridimensionales para extraer la estructura de las tormentas y su potencial de daño y emplear los ecos de precipitaciones y de atmósfera clara para estimar dirección y velocidad del viento en las partes bajas de la atmósfera (Sánchez-Diezma, 2002).



Los radares meteorológicos son un sistema de medición remoto eficiente que tiene la capacidad de realizar mediciones en cuatro dimensiones (4D). Las tres dimensiones espaciales (largo, alto y ancho), y una cuarta dimensión que nos permite ver la evolución de los fenómenos de precipitación en el tiempo, la dimensión temporal (t).

Este sensor juega un papel importante en la observación del tiempo, detección de amenazas hidrometeorológicas, clasificación y cuantificación de precipitación y pronóstico de tiempo (Zhang, 2016). Los radares meteorológicos pueden medir grandes áreas y hacer millones de mediciones en tan sólo minutos (Doviak & Dusan, 1993), ofreciendo una buena resolución espacial y temporal.

Con estas condiciones espacio-temporales, los radares meteorológicos tienen la versatilidad de servir como datos de entrada para modelos hidrológicos, de pronóstico del tiempo, de Sistemas de Alerta Temprana por diferentes riesgos hidrometeorológicos, entre otros. Uno de los principales usos de la estimación cuantitativa de la precipitación a partir de radares meteorológicos en el mundo son los Sistemas de Alerta Temprana para eventos extremos.

De otra parte, según la Comisión Europea: "los Sistemas de Alerta y pronóstico hidrológico se han perfeccionado gracias, entre otros, a los aspectos de potenciamiento de las redes hidrométricas y telemétricas de recolección de datos, diseminación del uso datos de radar meteorológico y satélite, disponibilidad de pronósticos numéricos y uso de sistemas electrónicos de análisis de datos"<sup>1</sup>.

Es por esta razón que en la implementación de radares se encuentra una oportunidad de mejoramiento de los pronósticos del estado del tiempo a corto plazo para emitir boletines, avisos y alarmas ante eventos extremos como el progreso en las tomas de decisiones por parte de las entidades orientadas a la prevención y atención de desastres.

Teniendo en cuenta que la función de los radares meteorológicos, a través de la discretización espacial de las precipitaciones en breves intervalos de tiempo, es el seguimiento y monitoreo en tiempo real, y predicción a corto plazo del comportamiento de eventos meteorológicos significativos como celdas de tormenta, granizadas, tornados, nevadas, seguimiento de dirección y velocidad de los vientos, entre otros, los beneficios en el tema de protección civil y Sistemas de Alertas Tempranas se verían reflejados en los siguientes aspectos:

---

<sup>1</sup> Comisión Europea. Dirección General XII para la Ciencia, la Investigación y el Desarrollo, Programa del Medio Ambiente. Integración de Técnicas de radar y Sensores remotos para la estimación de lluvias en aplicación hidrológicas y mitigación de riesgos de inundación. Bruselas, Bélgica. p.6.



- Emisión oportuna de boletines, avisos y alertas cuando se presenten condiciones de tiempo severo. Ya que las cuencas urbanas son de menor tamaño, las aplicaciones del radar precisarían mayor resolución temporal y espacial en el seguimiento de inundaciones rápidas y/o crecientes súbitas.
- En cuencas rurales, especialmente en las regiones de cordillera, aunque las aplicaciones del radar precisarían menor resolución temporal y espacial, es útil en el seguimiento de avenidas de origen torrencial y por consiguiente en planes de contingencia.
- Las tormentas de granizo en las ciudades eventualmente entorpecen el tráfico vehicular, taponan las vías y los sistemas de alcantarillado, además de causar daños en viviendas e infraestructuras, generan una emisión de Alerta Temprana a tiempo que podría evitar este tipo de riesgos.
- La información cruda acopiada en el sistema del radar permite la elaboración y mejoramiento de modelamiento hidrológico en la simulación de caudales.
- La información del radar articulada a la información de una red de estaciones telemétricas, permitiría cuantificar la precipitación en determinada área facilitando las técnicas de interpolación en investigación aplicada.
- Dadas las condiciones lluviosas persistentes en un determinado periodo, la información del radar serviría de insumo en la elaboración y mejoramiento de modelos de amenaza por deslizamientos para mitigar los mismos en zonas de ladera y en vías. En el caso de Colombia, los modelos de inundaciones, deslizamientos de tierra e incendios forestales que se trabajan en el IDEAM, dependen en un alto grado de variables meteorológicas como precipitación acumulada, precipitación reciente y temperaturas máximas recientes.

Para las alertas de estos fenómenos se toma como base el pronóstico meteorológico cualitativo. Evidentemente, si el pronóstico meteorológico no está soportado en información técnica suficiente (por ejemplo, si los globos meteorológicos no se lanzan diariamente), el grado de acierto en el pronóstico de lluvias se hace menor. Y si esto ocurre, los modelos de las otras amenazas no funcionan de forma correcta<sup>2</sup>.

En Colombia son más recurrentes las situaciones de emergencia y desastres de menor y mayor intensidad sumada a que la población es más vulnerable a la ocurrencia de eventos

<sup>2</sup> Reducción de la vulnerabilidad fiscal del estado ante desastres naturales (Programa APL) – IDEAM. 2007. Consultoría de EPAM S.A. ESP.



extremos por fenómenos naturales y antropogénicos.

Ante esta posible configuración de eventos en los países se han propuesto medidas de reducción de riesgos y de vulnerabilidad a través de los Sistemas de Alerta Temprana, Sistemas de Prevención y Atención de Desastres y Gestión del Riesgo principalmente.

*"En los últimos 30 años, Colombia ha sido uno de los países más vulnerables a desastres naturales en América. Un informe presentado en septiembre de 2008 por la Dirección Nacional de Planeación (DNP), revela que en promedio cada año ocurren 597 desastres en Colombia, superando a Perú (585); México (241); y Argentina (213)" (VANGUARDIA, 2009).*

Ante lo anterior, podemos encontrar que los principales desastres naturales que se presentan en Colombia, son de carácter hidrológico: (oleajes tempestuosos, crecidas súbitas), meteorológicos: (inundaciones, sequías, heladas, granizadas, temporadas de invierno) y geofísicos: (movimientos sísmicos, vulcanismo, avalanchas, derrumbes, aluviones, aludes), siendo los de carácter meteorológico e hidrológico los que más impacto negativo han causado en el país.

Dadas las diversas situaciones provocadas por los eventos hidrometeorológicos en diferentes zonas del país, se propone realizar este estudio que busca caracterizar la microfísica de la precipitación para la estimación cuantitativa de la precipitación con el fin de generar datos con alto grado de confiabilidad y que puedan ser utilizados más adelante en otras investigaciones relacionadas con Sistemas de Alerta Temprana para prevenir eventos extremos que puedan causar pérdidas humanas y materiales en múltiples sectores de la sociedad.

Si se considera, la Alerta Temprana como un proceso que abarca actores de tres tipos: (1) instituciones científicas y técnicas, encargadas del estudio y monitoreo de eventos naturales, para proveer modelos que pueden ser utilizados para el pronóstico de eventos en términos de intensidad, tiempo y región geográfica.

(2) Autoridades y agencias de Protección Civil, las cuales están a cargo de establecer operaciones y marcos relacionados con la preparación y la respuesta en caso de dichos eventos (3) comunidades, las cuales deben entender la naturaleza de las amenazas, sus posibles intensidades, rangos, y reaccionar de acuerdo con las guías impartidas por las instituciones de protección civil junto con las autoridades<sup>3</sup>.

En este contexto, los Sistemas de Alerta Temprana han sido pensados como estructuras multi-sectoriales que usan herramientas que deben responder eficientemente ante la ocurrencia de un evento extremo. Es por esto que la importancia en el apoyo de información

<sup>3</sup> Villagrà, Scout & Cárdenas. 2003. Sistemas de Alerta Temprana en el hemisferio americano. Contexto, estado actual y perspectivas futuras.



tecnología, científica y su intercambio entre regiones llevaría a una mejora significativa en el fortalecimiento de los Sistemas de Alerta Temprana y la constitución de estos donde no los hay.

Teniendo en cuenta la inclusión de los radares meteorológicos dentro de los Sistema de Alerta Temprana, las dinámicas hidrológicas en la región, presentan detalles generados por la ubicación geográfica, que hacen necesario un monitoreo riguroso de las variables que intervienen en este ciclo.

En particular, la precipitación que está directamente ligada a la generación de caudales y escorrentía y es una herramienta fundamental para la modelación de varios aspectos entre estos la hidráulica de los ríos y quebradas, los cuales han generado procesos de inundaciones y desbordamiento a lo largo de la historia.

Las temporadas de lluvias son una constante amenaza para el territorio nacional. Ante esta situación se debe evitar seguir corriendo riesgos de pérdidas de vidas por deslizamientos, inundaciones, colapso y daño de las estructuras de drenaje, entre otros.

El país y la operación de los Sistemas de Alerta Temprana, demandan de incorporar una herramienta capaz de adquirir y proporcionar datos en periodos cortos de tiempo (tiempo real); y pronósticos de las precipitaciones (cantidad, tiempo, tipo y dirección), frente a condiciones críticas generadas por aguaceros intensos, de larga duración o granizadas<sup>4</sup>.

Para el caso aplicado al manejo del riesgo de inundación en una ciudad o centro poblado, los Sistemas de Alerta, los de pronóstico hidrológico y los sistemas de respuesta y mitigación contra las inundaciones, deben ser fuertemente interrelacionados.

De esta manera, se explora la posibilidad de la inclusión de la tecnología ofrecida por los radares meteorológicos, de tal forma que sirva como herramienta, que en conjunto con otros desarrollos, sea fácilmente orientada a varios propósitos como la generación de Alertas Tempranas de inundaciones, avenidas torrenciales, predicción de crecientes, detección de granizadas y el pronóstico de precipitaciones en tiempo corto; con el fin de tomar decisiones acertadas dentro de la Gestión Integral del Riesgo en el país.

---

<sup>4</sup> Copete James- 2009. Herramientas Matemáticas e Informáticas aplicables en la Calibración y Funcionamiento de un Radar Meteorológico Concebido para el Estudio del Drenaje Urbano de la Ciudad de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia. Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos.



## Referencias

- Cao, Q., Zhang, G., Brandes, E., Schuur, T., Ryzhkov, A., & Ikeda, K. (2008). Analysis of Video Disdrometer and Polarimetric Radar Data to Characterize Rain Microphysics in Oklahoma. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, 2238 - 2255.
- Copete, J. (2009). *Herramientas Matemáticas e Informáticas Aplicables en la Calibración y Funcionamiento de un radar Meteorológico Concebido para el Estudio del Drenaje Urbano de la Ciudad de Bogotá*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Copete, J. (2012). *Determinación de Los Parámetros en la Relación Z-R de Reflectividad e Intensidad de Precipitación para la Ciudad de Bogotá Apoyado en Observaciones de Disdrómetros y Pluviógrafos*. Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana.
- Doviak, R. J., & Dusan, S. Z. (1993). *Doppler Radar and Weather observation* (Second ed.). San Diego, California: Academic Press.
- Hong, Y., & Gourley, J. J. (2015). *Radar Hydrology Principles, Models and Applications*. Boca Raton, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Ladino R Alfonso (2017) *Caracterización de la microfísica de la precipitación mediante información de disdrómetros y radar polarimétrico para la estimación cuantitativa de lluvia en el área metropolitana del Valle de Aburrá*. Universidad Nacional de Colombia.
- Sánchez-Diezma R. (2001). *Optimización de la medida de lluvia por radar meteorológico para su aplicación hidrológica*, Ph. D. Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, 313.
- VANGUARDIA. (20 de abril de 2022). Los 10 desastres naturales que marcaron el país. Vanguardia, pág. <http://www.vanguardia.com/>.
- Zhang, G., Vivekanandan, J., & Brandes, E. (2001). A Method for Estimating Rain Rate and Drop Size Distribution from Polarimetric Radar Measurements. *IEEE*, 830-841.
- Zhang, G. (2016). *Weather Radar Polarimetry*. Norman, Oklahoma: CRC Press.