

# El radar meteorológico y los sistemas de alerta contra inundaciones causadas por intensas lluvias

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios climáticos que tienen lugar en el mundo se han manifestado de forma inobjetable para la Región del Caribe mediante el incremento significativo de la presencia de huracanes tropicales, los que a su vez han ido presentando cada vez más mayor intensidad de sus vientos y en varias ocasiones acompañados de intensas lluvias.

Por la razón anterior, la República de Cuba se ha visto afectada en los últimos años por huracanes de gran intensidad que han provocado enormes pérdidas económicas por la destrucción total o parcial de cientos de miles de viviendas y por grandes inundaciones tanto en zonas urbanas como rurales. En la figura 1 se muestran los huracanes que han circulado sobre territorio cubano o por sus cercanías en el período 2002 - 2007 (Pardo y Martínez 2010).

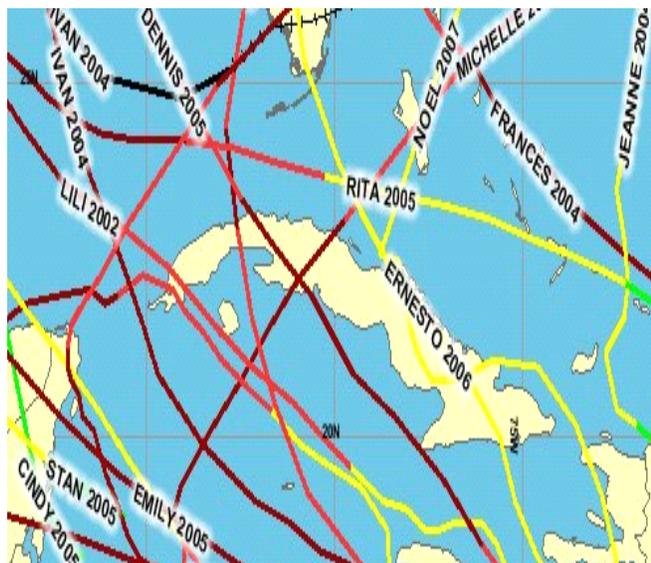


Figura 1 - Trayectoria de tormentas tropicales y huracanes en la región del Caribe entre 2002 y 2007. Nombres y fechas de los sistemas están indicados.

## Resumen / Abstract

*Se presenta una visión general de las conveniencias de emplear el radar meteorológico para la predicción de lluvias, así como de las necesidades de efectuar las correcciones - calibraciones correspondientes a las mediciones del radar para que las mencionadas predicciones sean confiables; en otras palabras, la integración de los datos del radar con los datos de los medidores de superficie de la lluvia (pluviómetros y/o pluviógrafos).*

*Palabras Clave: radar meteorológico, alerta temprana, lluvia, pluviómetro pluviógrafo.*

*A general overview is presented about the convenience of using meteorological radars for rainfall predictions and to make the so-called correction-calibration process corresponding to radar measures in order to get reliable predictions. In other words, to achieve a satisfactory relationship between radar and rainfall surface gauges (nonrecording and recording gauges) data.*

*Keywords: flooding forecast, radar data calibration, nonrecording rain gage, recording rain gage.*

Por tales razones la Defensa Civil aplica un sistema de alerta temprana que desde sus inicios ha posibilitado la protección de vidas humanas y de animales, así como la disminución de destrozos en la agricultura; sin embargo, las medidas de prevención que se adoptan en los aspectos relacionados con las inundaciones, han tenido que ser conservadoras por la falta de métodos de predicción de las lluvias sustentados en criterios confiables. Por esa razón, el Estado Mayor Nacional de la Defensa Civil ha convocado a las instituciones cubanas involucradas con el tema, para la elaboración de un sistema de predicción de inundaciones con bases científicas confiables, que permitan hacer pronósticos más certeros tanto en magni-

tud de las inundaciones como en cuanto al momento de su ocurrencia.

El Centro de Investigaciones Hidráulicas, CIH, a través de cuarenta años de trabajo científico ha desarrollado un considerable número de proyectos de investigación muy útiles para su empleo como parte de un sistema de alerta temprana para la predicción de inundaciones. Todas esas herramientas han sido incorporadas a una denominada Plataforma Modular Integrada para la Gestión de los Recursos Hídricos, la cual incluye la posibilidad de predecir inundaciones a partir del dato *lluvia esperada*.

Por otro lado, Cuba cuenta con una amplia red pluviométrica con varios años de observaciones que aportan una rica base de datos de *lluvia medida en tierra*. De igual forma desde hace unos años se dispone de una red de radares meteorológicos que cubren todo el territorio nacional y que también aportan una valiosa base de datos de *imágenes de radar*.

Con lo antes expresado queda planteado el problema: la integración de los datos de radar con los datos pluviométricos a un sistema de predicción de inundaciones.

Esencia de la integración de los datos de pluviómetros y/o pluviógrafos con datos de radar: *los primeros son precisos y muy confiables en cuanto a los valores absolutos puntuales de la lluvia, pero no dan distribución espacial ni temporal de la misma; mientras los segundos son excelentes para dar información acerca de la distribución espacio temporal de la lluvia, pero muy imprecisos para dar valores absolutos de la misma.*

## 2. EL RADAR METEOROLÓGICO COMO INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE LA LLUVIA

El radar (**RAD**io **D**etección **A**nd **R**anging) (Calheiros y Zawadski 1986) es un sistema electromagnético para la

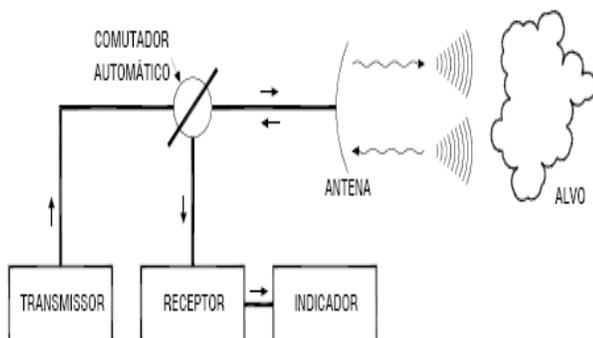


Figura 2 - Esquema de funcionamiento del radar meteorológico. (Fuente: Calheiros 1982 citado por Machado 2006)

detección y localización de objetos. El principio de operación de un radar es relativamente simple: un transmisor emite un pulso de energía electromagnética, el cual se propaga a partir de una antena móvil. Esa señal viaja a la velocidad de la luz y, al encontrar un objeto es parcialmente reflejado retornando a través de la misma antena y encaminado por un conmutador automático para un receptor. Ver figura 2

Las medidas de precipitación con radar se basan en la cantidad de energía que retorna al radar reflejada por la lluvia, por los cristales de hielo o granizo, sobre los cuales incidió la radiación emitida a través de la antena. Los radares transmiten periódicamente un pulso de radiación electromagnética de microonda con duración de unos pocos microsegundos, un pico de energía de centenares de kW y frecuencia en la banda de los gigahertz. Cuando el pulso de energía choca con un blanco, una parte de la energía incidente es reflejada de vuelta siendo recibida por la antena, donde es detectada y de inmediato enviada a procesamiento. El intervalo de tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción de la parte reflejada, determina la distancia entre el radar y el blanco.

El empleo del radar con fines meteorológicos comenzó durante la segunda guerra mundial. En 1982 se apuntaban dos problemas para el empleo del radar para la recolección de datos meteorológicos (Machado 2006):

- Dificultades en el procesamiento, análisis y transmisión de la enorme cantidad de informaciones generadas por el radar, que está siendo resuelta con el avance impresionante de los sistemas de gestión de datos.
- Cuestiones relativas a la calibración de los datos del radar.

El conocimiento real de la distribución de precipitación sobre determinada región es fundamental donde el control del escurrimiento superficial del agua se hace necesario para el control del caudal en cuencas hidrográficas sujetas a inundaciones, entre tanto dicho conocimiento resulta perjudicado en sus extensiones espacial y temporal debido a las limitaciones de las redes pluviométricas convencionales de superficie (pluviómetros y pluviógrafos). En este aspecto es que *el radar meteorológico desempeña un importante papel funcionando como un telepluviómetro electrónico en tiempo real, cubriendo fallas resultantes de la insuficiente red pluviométrica de superficie, tales como la sobre o subestimación del total de lluvia o su variabilidad espacial, usada como dato de entrada, por ejemplo, en modelos hidrológicos para la estimación del gasto máximo de un canal* (Antonio 1998).

Los radares pueden ser clasificados (Machado 2006) en función de las características de las ondas emitidas, según se puede apreciar en la tabla II.1.

Tabla II.1 - Relación entre longitud de onda, banda y frecuencia. Fuente: Machado (2006)

Longitud de onda(cm)	Banda	Frecuencia (MHz)	Aplicación
0,8 – 2,7	K	30 000	Física de las nubes
2,8 – 3,8	X	10 000	Aeronaves
3,9 – 6,2	C	6 000	Meteorología
6,2 – 19,3	S	3 000	Meteorología
19,4 – 76,9	L	1 500	Control de tráfico

**2.1 Conceptos básicos sobre radares**

Para la lluvia la interacción de la onda electromagnética emitida por el radar con gotas de agua esféricas, se establece la proporcionalidad (Campos 2009):

$\sigma \propto D^6$  donde D es el diámetro de las gotas de lluvia en mm y  $\sigma$  representa la sección transversal del rayo reflejado que retorna al radar.

Una ecuación importante en el radar es

$$P_r = CR_1 \frac{P_t}{l^2} \sigma \tag{2.1}$$

donde:

$P_r$ : potencia recibida por el radar

$CR_1$ : constante relacionada a parámetros específicos del radar

$P_t$ : potencia emitida

$\sigma$  : sección transversal de la imagen reflejada que retorna al radar

l: distancia entre el radar y el blanco

La sección transversal de la imagen reflejada que retorna al radar realmente corresponde al valor medio de las imágenes reflejadas por varios blancos que fueron detectados por el radar, siendo correcto describir la ecuación y resultando:

$$\bar{P}_r = CR_1 \frac{P_t}{l^2} \sum_j \sigma_j \tag{2.2}$$

El factor de reflexión del radar Z se determina por

$$Z = \sum_j \frac{D_j^6}{m^3}, \text{ se mide en mm}^6/\text{m}^3 \text{ o en decibel (dBZ)}$$

Resultando que la relación entre la potencia recibida y el factor de reflexión es:

$$\bar{P}_r = P_t \frac{C_2}{l^2} Z \tag{2.3}$$

siendo  $\bar{P}_r$  la potencia recibida media desde todos los blancos. Cuando Z es calculado a partir de la potencia recibida media recibe el nombre de factor equivalente de reflectividad del radar  $Z_e$ .

**2.2 La ecuación fundamental del radar**

Como el objetivo final es el conocimiento de la precipitación, se hace necesario convertir el factor de reflectividad Z, obtenido por el radar, en intensidad de lluvia R.

Es importante resaltar que Z y R son enormemente diferentes a pesar de estar relacionadas con el mismo fenómeno físico. El factor de reflectividad Z corresponde a la cantidad y tamaño de las gotas de agua presentes en el volumen iluminado por el radar y R representa la lluvia puntual que cae sobre un área puntual situada 1,5 m por encima del terreno.

El factor de reflectividad Z también puede ser expresado como:

$$Z = \sum_{D_{\min}}^{D_{\max}} N_j D_j^6 \tag{2.4}$$

que en el límite vale

$$Z = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} N(D) D^6 dD \tag{2.5}$$

en la cual:

N: número de gotas de diámetro  $D_j$  que según Marshall

y Palmer (1948) siguen una relación exponencial de D.

La intensidad de lluvia R puede ser expresada como el flujo descendente de agua por unidad de área

$$R = \frac{\pi}{6} \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} N(D) D^3 V_t(D) dD \quad (2.6)$$

siendo:

volumen de la esfera =  $\pi D^3/6$

$V_t$ : velocidad terminal de caída de la gota de agua de diámetro D; que puede ser expresada por  $V_t = KDC$

Comparando las dos ecuaciones, se tiene la relación clásica {Marshall y Palmer 1948) entre precipitación y reflectividad del radar, también denominada ecuación fundamental o patrón.

$$Z = AR^b \quad (2.7)$$

siendo:

Z - (mm<sup>6</sup>/m<sup>3</sup>); R - mm/h, A y b - coeficientes ajustables.

Marshall y Palmer propusieron la primera relación en 1948, basada en muchas observaciones experimentales, que relacionaban las observaciones obtenidas por el radar y las medidas en pluviómetros. De acuerdo con ATLAS, 1990 citado por (Machado 2006), el ajuste de ecuaciones ZR fue objeto de estudios de muchos científicos, en varias regiones, para varios tipos de precipitación, y resultaron muchas combinaciones de valores para A y b. En la tabla II.2 siguiente están algunas de las principales ecuaciones propuestas.

La identificación de la relación Z - R para convertir los

datos del radar en intensidad de lluvia es un paso trascendental para la validez del empleo del radar. En este aspecto es esencial encontrar la relación adecuada para cada región, fundamentalmente atendiendo a los distintos tipos de lluvias que pueden ocurrir (Pereira 2007).

Existen tres formas clásicas para obtener la relación entre Z y R; esto es, para calibrar el radar (Antonio 1998):

1. disdrómetro
2. pluviómetro o pluviógrafo
3. Método estadístico

Por lo que ha sido expuesto en la literatura especializada, los pluviómetros y los radares miden agua presente en la atmósfera, pero en alturas y muestras volumétricas diferentes. El agua medida por estos aparatos se encuentra en momentos diferentes del proceso de precipitación. Además cada uno de ellos por separado contiene errores en las mediciones.

### 2.3 Errores asociados a las mediciones de lluvia con radar (Fattorelli et al. 1996).

El pluviómetro mide el agua efectivamente precipitada, mientras el radar mide el agua potencialmente precipitable. En la figura 4 se ilustran los tipos de muestra que cada instrumento hace para la cuantificación de un evento de lluvia.

Los principales problemas que pueden comprometer la calidad de las mediciones de la lluvia son (Machado 2006):

- Identificación del tipo de precipitación.
- Evaporación.
- Distancia.
- Difracción.
- Atenuación atmosférica.
- Formación de lluvias en bajas altitudes.
- Banda brillante.

Tabla II.2 - Ecuaciones Z - R. (fuente: Machado (2006) )

<b>Z = AR<sup>b</sup></b>	<b>A</b>	<b>b</b>	<b>Validez</b>
Marshall – Palmer (1948)	200	1,6	Precipitaciones homogéneas y eventos estratiformes
Blanchard (1953)	31	1,37	Precipitaciones orográficas
Jones (1956)	486	1,37	Precipitaciones convectivas
Joss y Waldvogel (1967)	230	1,4	Precipitaciones medias
Joss y Waldvogel (1967)	400	1,3	Procesos convectivos intensos
Joss y Waldvogel (1967)	100	1,4	Procesos frontales – gotas muy pequeñas
Smith et. al. (1975)	155	1,88	Procesos convectivos – presencia de granizo
Sekhon y Srivastava (1970)	1780	2,21	Nieve

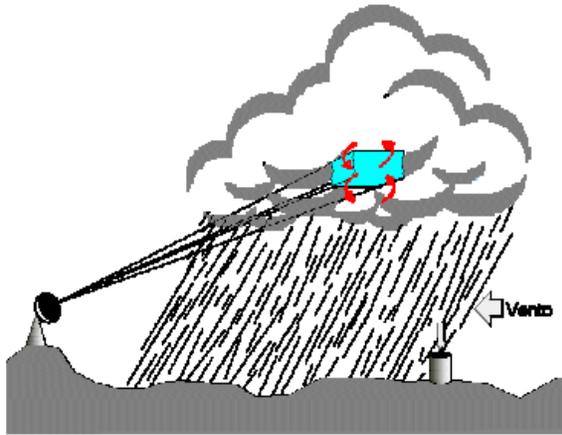


Figura 4 - Formas de medidas - radar y pluviómetro. (fuente: Machado 2006)

- Presencia de granizo.
- Detección de otros.
- Desvío por vientos.

## 2.4 Acerca de las mediciones de lluvia con instrumentos de superficie (pluviómetros y pluviógrafos)

Ochoa, 1985 citado por {Machado, 2006 #14} menciona entre las causas de errores en las mediciones del pluviógrafo las siguientes:

1. Inclinación accidental del equipo.
2. Desperfectos mecánicos.
3. Tiempo de oscilación del pluviógrafo.
4. Ausencia de medidas para precipitaciones débiles.
5. Diferencias en la forma de la muestra.
6. Presencia de vientos fuertes a la altura de la captación de la lluvia.

## 2.5 La distribución espacial de la lluvia

La especialización (distribución) de eventos de lluvia puede ser hecha siguiendo dos criterios. El primero es representado la distribución espacial sobre un área en forma de isohietas, que recibe el nombre de campo de precipitación.

La segunda es sustituyendo el campo de precipitación por un único valor: la precipitación media sobre el área, que corresponde a una lámina de agua de altura uniforme sobre toda la región considerada, asociada a una duración (Bertoni & Tucci 1993 citado por Machado 2006 ). Este valor medio es obtenido a partir de la adopción de una hipótesis de distribución espacial.

Esta distribución puede ser hecha a partir de datos de pluviómetros y pluviógrafos, de datos de radar, o de una combinación de ambos.

## 3 - ACERCA DE LA INTEGRACIÓN DE LOS DATOS DEL PLUVIÓMETRO O PLUVIÓGRAFO Y EL RADAR

A mediados de junio de 2002 el proyecto MUSIC (**M**ultiple- **S**ensor **P**recipitation **M**easurements, **I**ntegration, **C**alibration and **F**lood **F**orecasting) (MUSIC 2002) desarrollado por los países europeos como parte de los proyectos COST, presentó un interesante reporte parcial del cual vale destacar en la presente ponencia algunos aspectos:

"El proyecto MUSIC apunta a la combinación, de una forma objetiva y óptima, de distintas fuentes de estimación de la precipitación, como la meteorología por satélite, radares meteorológicos y los pluviómetros, a fin de reducir la incertidumbre y que las consiguientes estimaciones de la precipitación estén disponibles para el análisis de zonas de riesgo de inundaciones, así como dato de entrada a los sistemas de previsión en tiempo real de inundaciones".

"El primer problema a resolver en esa combinación de mediciones es que las mediciones puntuales, como las producidas por los pluviómetros, no pueden compararse directamente con las estimaciones espaciales producidas por el radar meteorológico o el satélite meteorológico. Para combinar de forma consistente los conjuntos de datos, primero se deben regionalizar los datos de mediciones puntuales de los pluviómetros para hacerlos comparables con las mediciones espaciales".

Los pluviómetros y pluviógrafos miden la lluvia a nivel de suelo con precisión, (Moreira 2005); Antonio (1998); Calheiros y Zawadski (1986); Fattorelli et al. (1996); Koistinen y Pujaddka (1981); Machado (2006); Overeem et al. (2009); Pardo y Martínez (2010); Pereira (2007); Silveira (2009); Todini y Mazzetti (2002), hacen mediciones continuas y en el caso de los últimos dan la distribución temporal. No miden distribución espacial.

El radar suministra información acerca de la distribución espacial y temporal de la lluvia, pero no colecta datos de forma continua, hace una muestra volumétrica de grandes proporciones.

Austin en 1987 advirtió: "en cada instante la intensidad de la lluvia varía significativamente en distancias menores que 1 km y en un punto ella puede cambiar en intervalos de tiempo de un minuto o menos. De esa forma la lluvia medida por pluviómetros puede no ser representativa de los volúmenes mostrados por el radar. De la misma forma la tasa de lluvia observada instantáneamente por el radar puede no ser representativa de las lluvias que ocurrieron entre los intervalos de observación".

Es prácticamente generalizada la técnica de usar a los

pluviómetros para ajustar los datos del radar, considerando a los primeros como correctos; la verificación de la calidad de los resultados es hecha mediante la comparación con pluviómetros.

Gjertsen, 2003 citado por (Machado 2006) clasifica las técnicas de ajuste de la forma siguiente:

- Simples: los datos del radar son ajustados a partir de la comparación puntual de los datos del radar y del pluviómetro. En esta categoría el ajuste puede ser uniforme, donde se determina un factor de ajuste medio que se aplica a todos los datos del radar; o variable, donde se admite que los factores de ajuste varían en el espacio y en el tiempo.

- Sofisticados: cuando utiliza métodos de interpolación óptima o estadística, técnicas de krigagen (kriging) y filtro de Kalman.

Varios son los métodos que se encuentran en la literatura especializada (Pardo y Martínez 2010) para efectuar la integración de datos pluviométricos con datos de radar, entre ellos se citan:

- Brandes (1975)
- Koistinen y Pujaddka (1981)
- Problema inverso para ajustar la relación ZR (Brasilero 2009)
- Análisis objetiva estadística ANOBES (Moreira 2005)
- Método estadístico para ajustar la relación ZR, desarrollado por Calheiros y Zawadzki (1986)
- Método de Regresión Múltiple Ponderada (WMR) (Gabella y Amitai 2000)
- Método geoestadístico (Li et al. 2008)
- Método combinado de bloque de kriging y filtro de Kalman usando aproximación bayesiana (Todini y Mazzetti 2002)

Los EEUU y la Comunidad Europea tienen realizadas investigaciones con radares y sus aplicaciones de forma coordinada a través de los programas NEXRAD y COST, respectivamente (MUSIC 2002), (NEXRAD 1984). A pesar de haber tenido avances significativos en técnicas que mejoran los datos del radar, aún hoy son pocas las aplicaciones operacionales en hidrología. Esto ocurre en función de la dificultad de acceso y de la falta de confianza en estos datos, además de la falta de integración entre hidrólogos y especialistas en radares.

El COST-717 tuvo como objetivo final la integración de los datos de radar con las actividades hidrológicas. Contó con varios grupos de trabajo y sus principales conclusiones (MUSIC 2002) en lo relativo a generación de datos de lluvia distribuida a nivel de terreno son:

a) el radar no puede ser considerado como una herra-

mienta que sustituya al pluviómetro, pero sí como una fuente de datos que debe ser complementada por pluviómetros. Las investigaciones más recientes enfocan siempre de manera multisensorial.

b) Las técnicas de ajuste pasan siempre por la comparación radar-pluviómetro, por ese motivo existe un control riguroso sobre la calidad de las mediciones de ambos instrumentos. Los datos del radar deben ser corregidos para eliminar ecos de terreno, propagación anómala y banda brillante; el análisis de perfil vertical de reflectividad es muy eficiente para esos ajustes. Las técnicas mixtas solo deben ser aplicadas después de estas correcciones.

c) Toda vez que no existe un patrón global de aplicaciones, es necesario que las técnicas mixtas que combinan pluviómetro y radar sean ajustadas para las condiciones locales y al propósito de la estimativa (resolución espacial y temporal).

d) El desarrollo de métodos eficientes para la identificación del tipo de lluvia y el uso de varias ecuaciones Z-R para la generación de campos de precipitación es todavía un desafío. Gjertsen (2003) citado por Machado (2006) afirma que la selección inicial de la relación Z-R no es crítica cuando los ajustes vía pluviómetro son usados.

e) Debe disponerse de recursos para el entrenamiento de hidrólogos en el trabajo con productos generados por los institutos meteorológicos, así como los especialistas en radar deben ser estimulados a presentar los datos en formatos interesantes a los hidrólogos.

f) Se debe intentar homogeneizar los productos del radar, toda vez que hay un gran interés de intercambio de informaciones entre los diversos institutos. La normalización debe incluir las estrategias de medida y control de calidad de los datos, los formatos finales de archivos de datos y herramientas de visualización.

Este informe final del COST-717 apunta que los errores en las estimativas de lluvia aún pueden variar de -50% a +100% inclusive después que todas las correcciones fueran hechas.

## **CONCLUSIONES**

1. Los medidores de lluvia en superficie, pluviómetros y pluviógrafos, son considerados los instrumentos que dan la verdad en cuanto al valor absoluto de la lluvia en un punto específico, pero son muy imprecisos para dar la distribución espacial de la misma.

2. Los radares meteorológicos son excelentes para dar la distribución espacial de la lluvia, pero brindan valores puntuales de la misma muy imprecisos.

3. La integración de los datos de medidores de superficie y de radar ofrece varias ventajas, pues además de integrar sus ventajas individuales con la correspondiente mitigación de sus respectivas desventajas, dan la posibilidad de establecer sistemas de alerta temprana contra inundaciones en los que el tiempo de anticipación a tales

inundaciones puede ser significativamente mayor.

Un ejemplo es suficiente para demostrar esta última conclusión: la ciudad de Camagüey está enclavada muy próxima a la cabecera de la cuenca del río San Pedro, de manera que cualquier sistema de alerta temprana que se base únicamente en una red de medidores de superficie tales como pluviógrafos y estaciones hidrométricas situadas aguas arriba de la ciudad y dentro de la cuenca, no tiene valor práctico para alertar posibles inundaciones pues cuando los instrumentos detecten las lluvias y las escorrentías ya estarán comenzando las inundaciones de la ciudad.

Una mejoría a la situación anterior puede ser mediante el empleo de medidores de superficie situados en las cuencas vecinas incluidas las de provincias al este y al oeste de Camagüey, de manera que se podría conocer con un "poco más de tiempo" las características de la tormenta que se acerque por esos lados. Evidentemente aún subsiste un problema, el relacionado con las tormentas que se acerquen por el norte o por el sur, es decir, por mar, donde obviamente no hay medidores de superficie.

La incorporación de las observaciones del radar es una excelente alternativa pues con su gran radio de alcance empiezan a monitorear la tormenta aún cuando se encuentre lejos del territorio nacional. La correcta calibración de los datos del radar y desarrollo de los métodos para predecir la evolución de la tormenta desde que se detecta hasta que llegue a la cuenca de interés, es el reto que queda planteado a hidrólogos y meteorólogos cubanos. La voluntad de integración de estos especialistas es imprescindible para llegar a los resultados que se requieren con urgencia.

## REFERENCIAS

**Antonio, M.d.A.** (1998). *Técnica de ajuste en tiempo real de la medición de la lluvia con radar*. p. 76.

**Brandes, E.A.** (1975). *Optimizing rainfall estimates with the aid of RADAR*. Journal of Applied Meteorology, vol. 14: p. 1339 - 1345.

**Brasilero, A.X.S.** (2009). *Identificación de parámetros de la ecuación del radar de tiempo para un evento de precipitación a partir de la formulación de un problema inverso*, XIV Simposio Brasileiro de Monitoreo Remoto. Natal, Brasil. p. 7385 - 7391.

**Calheiros, R. y Zawadski, I.** (1986). *Reflectivity - Rain Rate Relationships for Radar Hydrology in Brazil*. Journal of climate and applied meteorology, vol. 26: p. 118 - 132.

**Campos, E.F.d.** (2009). *Avaliação da distribuição da chuva nas vazões máximas urbanas usando dados de radar e de pluviógrafo*, Departamento de Recursos Hídricos. UNICAMP: Campinas. p. 156.

**Fattorelli, S., Casale, R., Borga, M. and Da Ros, D.** (1996). *Integración de técnicas RADAR y sensores remotos para la estimación de lluvias en aplicaciones hidrológicas y mitigación de riesgos de inundación*. P.E.d.M. Ambiente, Editor. Asociación Italiana de Hidronomía, AIDI.

**Gabella, M. y Amitai, E.** (2000). *Estimaciones de las precipitaciones por radar en los Alpes, utilizando diferentes técnicas de ajuste*.

**Koistinen, J. and Pujaddka, T.** (1981). *An improved spatial gauge - RADAR adjustment technique.*, 20th Conference on RADAR Meteorology. Boston, USA. p. 179 - 186.

**Li, B., Eriksson, M., Srinivasan, R. y Sherman, M.** (2008). *A geostatistical method for Texas NexRad data calibration*.

**Machado, I.** (2006). *Avaliação de métodos de compisição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuidos.*, Escuela de Ingeniería de San Carlos. Universidad de Sao Paulo: Sao Paulo, Brasil. p. 191.

**Marshall, J.S. and Palmer** (1948). *The distribution of raindrops with size*. Journal of meteorology, vol. 5: p. 165 - 166.

**Moreira, I.A.** (2005). *Modelagem hidrológica chuva - vazao com dados de radar e pluviômetros*. Universidad Federal de Paraná: Sao Paulo, Brasil. p. 96.

**MUSIC, COST Project 72.** (2002). European Commission Report: EUR 10353 EN - FR.

**NEXRAD** (1984). *NEXRAD, Next Generation Weather Radar*, Programmatic Environmental Impact Statement R400 - PE201. US Department of Commerce: USA.

**Overeem, A., Buishand, T. A. and Holleman I.** (2009). *Extreme rainfall analysis and estimation of depth - duration - frequency curves using weather radar*. Water Resources Research, (DOI: 10 1029/, 2009).

**Pardo, R. y Martínez, J. B.** (2010). *El empleo del radar meteorológico en los sistemas de alerta temprana para la predicción de inundaciones.*, Monografía. Centro de Investigaciones Hidráulicas: La Habana. p. 162.

**Pereira, A.** (2007). *Estimativa e previsao de precipitação por medio de redes de superficie, sensoramiento remoto e modelagem numérica no âmbito de um sistema de previsao hidrometeorológica.*, Departamento de Ciencias Atmosféricas. Universidad de Sao Paulo: Sao Paulo, Brasil. p. 198.

**Silveira, R.** (2009). *Identificação de parametros da ecuacao de radar de tempo para um evento de precipitação a partir da formulação de um problema inverso.*, XIV Simposio Brasileiro de Sensoramiento Remoto. Natal, Brasil. p. 7385 - 7391.

**Todini, E. and Mazzetti, C.** (2002). *Combining rain - gauges and RADAR precipitation measurements using a Bayesian approach*.