

El Error en la Estimación de la Precipitación por Radar y su Relación con el Intervalo de Muestreo

Carlos A. Pérez Sánchez, Félix Gamboa Romero, Zoltan Rivero Jaspe e Ismael Pomares Ponce

Centro Meteorológico de Camagüey, INSMET Cuba

Resumen

Se presentan mediciones del campo de precipitación a intervalos temporales lo suficientemente pequeños (20 segundos) con el objetivo de minimizar los errores atribuibles al intervalo entre las muestras, obteniéndose así mapas de lluvia de referencia, con respecto a los cuales se investigó la magnitud del error para diferentes frecuencias de adquisición del dato. Se muestra que la mejor acumulación para un período dado, se alcanza con datos de alta resolución temporal. Los resultados que se presentan propician una utilización efectiva de la red de radares del país, al introducir la medición de las precipitaciones, como un servicio estable a la economía, estudios climáticos e hidrológicos y aplicaciones prácticas de interés social en general

Introducción

El radar meteorológico se presenta como un medio muy atractivo para estimar los acumulados de precipitación sobre extensos dominios espaciales. La posibilidad que brinda de obtener información detallada tanto temporal como espacialmente, no se manifiesta por ningún otro sensor usado operacionalmente. Por otro lado, la capacidad del radar meteorológico de suministrar información areal acerca de las precipitaciones en tiempo real, hace de éste una herramienta de gran utilidad para usos hidrológicos y de protección a las zonas potencialmente afectadas por inundaciones sorpresivas.

Aún cuando estas bondades son totalmente ciertas, resulta bien conocido que las estimaciones de precipitación con radar, adolecen de severos errores, comenzando por el hecho de que la reflectividad (Z) es el momento de orden seis de la distribución por tamaño de las gotas, mientras que la intensidad de la lluvia (R) es el momento de orden 3.67 de dicha distribución. Como se aprecia, la intensidad de la precipitación, no está relacionada linealmente con la reflectividad. Esta no linealidad, causa ambigüedad en la estimación de las precipitaciones por radar y aún cuando grandes intensidades de la misma, están asociadas con los ecos más intensos, la relación entre R y Z no es única, Battan (1973) presentó una lista de 69 diferentes

relaciones Z-R. En dependencia del tipo de precipitación y la región geográfica, los meteorólogos de radar utilizan diferentes relaciones $R(Z)$. Adicionalmente, el error asociado con $R(Z)$ depende de otros muchos factores, como son el llenado incompleto del haz, evaporación debajo de la base de la nube, atenuación de la señal en la atmósfera y el campo de precipitaciones, el efecto de la banda brillante, los movimientos verticales y horizontales del aire, los ecos fijos y la propagación anómala entre otros (Brandes et al. 1997). Recientes investigaciones llaman la atención sobre el hecho de que la lluvia se presenta en localizaciones o bolsones de diferentes dimensiones, o sea, que existen localizaciones muy abundantes en gotas y otras donde éstas son escasas, de manera que el conteo de las mismas en volúmenes vecinos, está interrelacionado, estas heterogeneidades implican que la distribución del tamaño de las gotas cambia continuamente, mientras más datos se adicionan, de manera que ésta dependerá críticamente del proceso de medición (Jameson and Kostinski 2001). Entonces, específicamente se debe cuestionar el uso de las distribuciones de Marshall-Palmer, obtenidas de un conjunto particular de eventos lluviosos, en el desarrollo de algoritmos que pueden ser aplicados subsecuentemente, a locaciones y escalas de observación que son inconsistentes con las distribuciones de Marshall-Palmer originalmente obtenidas. Además, algunos otros errores debido a limitaciones en el muestreo, pueden alcanzar gran relevancia.

El efecto del intervalo de muestreo ha sido objeto de varios estudios. Por ejemplo, Harrold et al. (1974) encontró que el error debido al mismo incrementa con la resolución espacial y con el tiempo entre las muestras. Por otro lado Wilson y Brandes (1979), hallaron que la dispersión relativa de la comparación entre el radar y el pluviómetro incrementa del 20 al 60% cuando el intervalo de muestreo varía desde prácticamente continuo a una exploración cada 30 minutos. Huebner et al. (1986) realizaron un estudio estadístico que mostró, para áreas de 5 km por 5 km y un tiempo de acumulación total de 60 minutos, un incremento del error absoluto promedio superior al 35% para un intervalo de muestreo de 30 min. Por su parte, Hudlow y Arkell (1978), obtuvieron una diferencia del 55% cuando el muestreo se incrementó desde cinco hasta 30 min. Una fracción muy significativa de esos errores se deben a las asunciones simplista bajo las cuales, en la mayoría de los casos se calculan los totales acumulados de la lluvia estimada por el radar. Para el caso en

que ésta, se calcula simplemente aplicando la multiplicación de la precipitación por el tiempo correspondiente al intervalo de muestreo, el error debido al tiempo entre exploraciones resulta ser el dominante (Fabry et al. 1993).

En este trabajo se pretende analizar la magnitud del error de muestreo, comparando las mediciones realizadas a diferentes intervalos con otras consideradas como patrón por su alta resolución temporal. Además, iniciar la divulgación de los primeros resultados de la ejecución de un proyecto destinado a buscar entre otras cosas, el mejoramiento de las estimaciones de lluvia por radar, con la intención de contribuir a establecer definitivamente el monitoreo de las precipitaciones con esta tecnología.

Materiales y métodos

El error relacionado con el intervalo de muestreo, puede ser evaluado si se obtiene un conjunto de datos con la más alta resolución temporal posible y luego se extraen de éstos, los mapas correspondientes a los diferentes intervalos de muestreo que se deseen analizar y mediante ellos se calcula la acumulación de la lluvia. El siete de junio de 2003, a partir de las 16:09 (hora local), se recolectaron datos de radar con una resolución temporal de alrededor de 20 segundos, con un ángulo de elevación de 0° y utilizando el radar del Centro Meteorológico de Camagüey, el cual brinda la

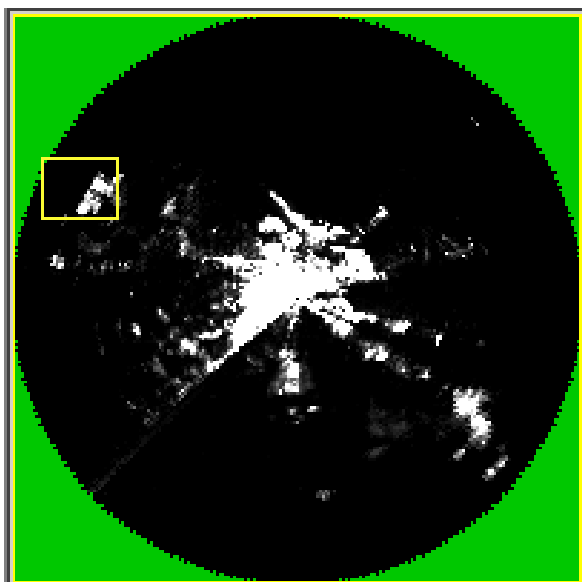


Fig. 1. Mapa de precipitación de las 16:09 del 11 de junio de 2003. Área seleccionada de trabajo en recuadro izquierdo.

posibilidad de trabajar en banda X y S, siendo esta última la empleada en todas las mediciones, las que se realizaron en un rango limitado a los 100 km. Una amplia variedad de ecos meteorológicos se pusieron de manifiesto en la muestra, la mayoría de ellos conglomerados de cúmulos convectivos en forma de líneas, pequeñas agrupaciones con lluvias entre débiles y ligeras y áreas estratiformes. Con la intención de limitar al máximo posible las fuentes de errores, se seleccionó una región que

alcanzó una distancia máxima del radar de 80 km y una mínima de 50 km (Fig. 1), en una zona libre de ecos fijos.

Por otro lado, la altura del haz a estas distancias, con un ángulo de elevación de 0° reduce considerablemente los errores relacionados con la presencia de la banda brillante y la alta variabilidad del perfil vertical de reflectividad.

Los mapas de la intensidad de la precipitación instantánea, fueron generados con la relación $Z = 300 R^{1.4}$ utilizada en el experimento FACE (Woodley, 1975), en uso actualmente en el NEXRAD y que es la establecida habitualmente en el radar de Camagüey para la estimación de las precipitaciones.



Resultados

La lluvia se calculó para cada kilómetro cuadrado dentro del área seleccionada y

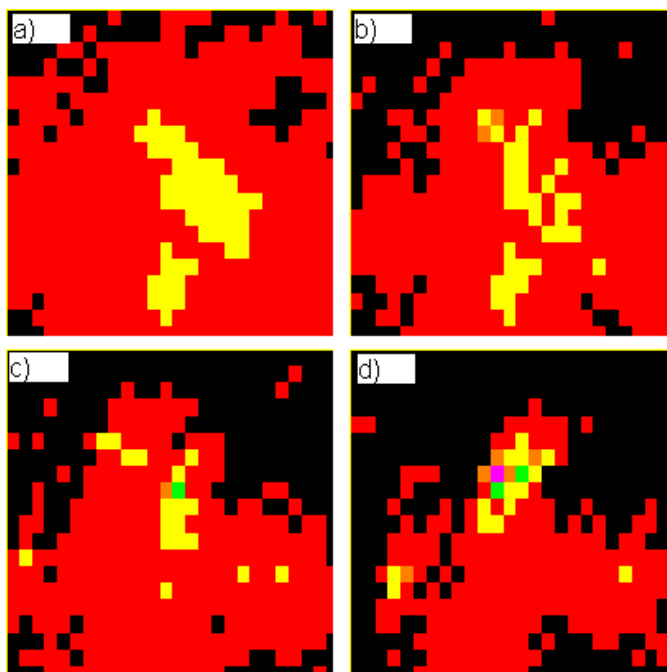


Fig. 2. Mapas de lluvia acumulada durante media hora para el área seleccionada el 11 de junio de 2003, a diferentes intervalos de muestreo (a) 20 segundos; (b) 5 minutos; (c) 10 minutos; (d) 15 minutos.

para la media hora de estudio, se obtuvieron mapas de precipitación con intervalo de muestreo variando desde uno hasta 15 minutos, entonces la acumulación así obtenida es comparada con el patrón derivado de la calculada con muestreos cada 20 segundos.

Un análisis de la Fig. 2 pone de manifiesto la estructura obvia de que el error incrementa con el tiempo entre exploraciones,

la mejora debida a los cortos períodos de exploración se debe al hecho que de este modo es posible captar la variabilidad temporal de la rápida evolución de los ecos. Cuando grandes intervalos de muestreo son utilizados, éstos resultan muy pocos para monitorear la evolución temporal del patrón de precipitaciones.

En la Fig. 3 se expone el comportamiento del error con el aumento del tiempo entre exploraciones, para lo cual, se utilizaron los mapas de lluvia acumulada obtenidos para los diferentes períodos de muestreo y se compara píxel a píxel con el mapa patrón elaborado para exploraciones cada 20 segundos, obteniendo entonces el error promedio para los diferentes intervalos de medición.

Como se puede apreciar, para observaciones realizadas con espaciamiento temporal menor que cinco minutos, el error se reduce a menos del 20%, sin embargo para 10 min éste se duplica, llegando a alcanzar el 40% y ya para intervalos tan grandes como 15 min el error es de mas del 60%. Del análisis de las Fig. 1 y Fig. 2 se pone de manifiesto que resulta prohibitivo incrementar el tiempo de muestreo más allá de cinco minutos, pues la diferencia con respecto al mapa patrón son imposibles de sostener para cualquier uso práctico de la información de lluvia así obtenida, es necesario entonces “apoyar” la ampliación del tiempo entre las exploraciones con argumentos que hagan más “realistas” las consideraciones en el cálculo que se realiza durante el proceso de acumulación, como puede ser el considerar que el campo de precipitaciones se desplaza espacialmente entre una exploración y otra, lo que realmente sucede y no se tiene en cuenta, al multiplicar la lluvia instantánea obtenida en el muestreo, por el tiempo transcurrido entre una medición y otra (Austin, 1987; Blanchet et al., 1991), tampoco se considera la condición no estacionaria del campo de precipitaciones, o sea que éste varía con el

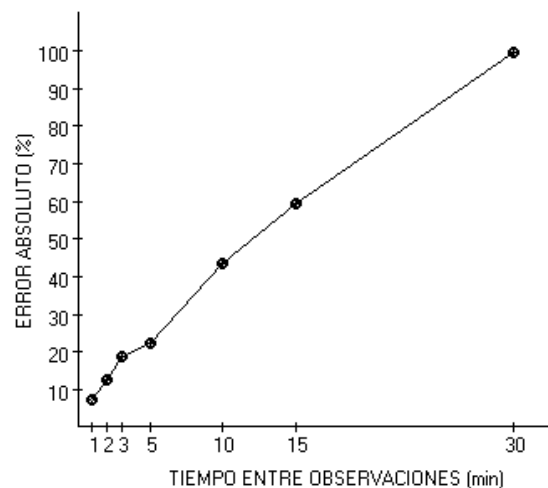


Fig.3. Variación del error del acumulado total en función del intervalo de muestreo.

tiempo entre una exploración y otra, lo que puede tenerse en consideración de algún modo (Fabry et al., 1993).

Los resultados alcanzados permiten asegurar que es posible introducir las mediciones de precipitación con un intervalo temporal de al menos cinco minutos, el cual pudiera ser ligeramente ampliado, si se consideran algunos aspectos que mejoren el proceso de cálculo de la acumulación de la lluvia estimada por radar, lo que aplicado en los cuatro radares que en el país brindan una señal digitizada, permite la aplicación de algoritmos que faciliten lo antes señalado. Estaríamos entonces en condiciones de tener un campo de precipitaciones con alta resolución espacial en más de la mitad del territorio del país, el que puede ser ajustado con los valores de la red pluviométrica para períodos de acumulación de 24 horas, semanal, mensual, anual o según se desee. Esta precipitación estimada por el radar, ajustada con la red pluviométrica para períodos de acumulación grandes (24 horas o más) pueden ser aceptables (Illingworth, 1997), su utilización operativa puede resultar de amplio beneficio en los estudios de variabilidad y aplicaciones de interés económico y social.

Conclusiones

Las mediciones con una alta resolución temporal capturan con suficiente exactitud la evolución esencial del campo de precipitaciones, para alcanzar estimaciones óptimas en las acumulaciones realizadas con intervalos de muestreo pequeños. El tiempo entre exploraciones no se puede ampliar más allá de cinco minutos sin afectar de forma muy sensible los valores obtenidos.

La medición de las precipitaciones con el uso de los radares meteorológicos en el país, puede ser implementada en la mayor parte de éste, brindando ventajas para distintas aplicaciones operativas y de investigación. La disminución del error de la estimación, una vez establecidas las mediciones de manera estable y continuada, puede ser abordada con los medios y algoritmos a nuestro alcance actualmente.

Referencias

- Austin, P.M., 1987. Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall forecast. *Mon. Weather Rev.*, **115**: 1053-1070
- Battan, L.J., 1973. *Radar Observation of the atmosphere*. Univ. of Chicago Press, Chicago Illinois.
- Blanchet, B., Neuman, A., Jacquet, G. and Andrieu, H., 1991. Improvement of rainfall measurement due to accurate synchronization of raingauges and due to advection used in calibration. In: I.D. Cluckie and C. G. Collier (Editors), *Hydrological application of weather radar*. Ellis Horwood, Chichester, pp. 213-218.
- Brandes, E., Vivekanandan J. and J. Wilson, 1997. Rainfall estimates of the Buffalo Creek flash flood using WSR-88D and Polarimetric radar data. Preprints, 28th Conf. On Radar Meteorology, Austin, TX, Amer. Meteor. Soc., Boston, pp 123-124.
- Fabry F., A. Bellon, M.R. Duncan and G.L. Austin, 1994. High resolution rainfall measurements by radar for very small basin: the sampling problem reexamines. *J. Hydrol.*, 161, 415-428.
- Harrold, T.W., E.J., English, and C.A., 1974. The accuracy of radar-derived rainfall measurements in hilly terrain, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 100, 331-350.
- Huebner, G.L., D.J., Zdenek and J.L., Fornear, 1986. Sampling interval and area effects on radar derived rainfall estimated. Preprints, 23th Conf. On Radar Meteorology and Cloud Physics Conf. Colorado, Amer. Meteor. Soc., Boston, pp 38-41.
- Hudlow, M.D. and R. Arkell, 1978. Effect of temporal and spatial sampling error and Z-R variability on accuracy of GATE radar rainfall estimates. Preprints, 18th Conf. On radar Meteorology, Atlanta, Amer. Meteor. Soc, Boston. pp 342-349

Illingworth, A. The Use of Active Remote Sensors to Infer Cloud and Precipitation Properties. Proceedings on WMO Workshop on Measurements of Cloud Properties for Forecasts of Weather and Climate. WMO/TD – No. 825 Mexico, pp 73-78, 1997

Jameson, A.R., and A.B. Kostinski, 2001. Reconsideration on the Physical and empirical origins of Z-R relation in radar meteorology. Q. J. R. Meteor. Soc., 127, 517-538.

Wilson, J.W. and E.A., Brandes 1979. Radar measurements of rainfall – a summary. Bull. Amer. Meteor. Soc., 60, 1048-1058.

Woodley, W.L., A.R. Olsen, A. Herndon, and W.L. Wiggert, 1975. Comparison of gage and radar methods of convective rain measurement. J. Appl. Meteor., **14**, 909-928