

PROPIEDADES MULTIFRACTALES DE LA LLUVIA AMAZÓNICA

Juan David Pérez Arango.¹

¹Magíster en Ingeniería – Recursos Hidráulicos. Profesor Facultad de Ingenierías, Grupo de Innovación y Sostenibilidad Aplicadas a la Infraestructura en Ingeniería ISAIL, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. jdperez@elpoli.edu.co

RESUMEN

La alta variabilidad espacio temporal propia de los campos de lluvia, manifestada en las propiedades multifractales se ha evaluado de mediante un ajuste de éstas a diversos modelos matemáticos con el fin de representarlas adecuadamente. Existe evidencia de que estos campos presentan rasgos de multiescalamiento que pueden observarse en la estructura del espectro de potencias de Fourier y en la función de escalamiento de momentos. El objetivo de este trabajo es identificar una función $K(q)$ dependiente del momento de orden q , que describa la relación existente entre el campo de la lluvia que se denomina R y la escala espacial que se denomina L . Adicionalmente se pretende examinar la variación de algunas propiedades multifractales de dichos campos, expresadas en los parámetros de la ecuación para $K(q)$ a partir del análisis de escalamiento de momentos. La convección profunda se manifiesta en la atmósfera dentro de un amplio rango de escalas espaciales y temporales dando lugar a los complejos convectivos de mesoescala los cuales cumplen un papel fundamental en la distribución de energía, momento y agua sobre los trópicos. Estos sistemas pueden ser identificados a través del radar porque su tamaño en escala lineal es superior a 100 km, lo que hace posible verificar en ellos el multiescalamiento de la lluvia.

Palabras clave: Meteorología, Propiedades Multifractales, Lluvia, Amazonia

Recibido: 17 de Abril de 2009. Aceptado: 30 de Junio de 2009

Received: April 17, 2009 Accepted: June 30, 2009

MULTIFRACTAL PROPERTIES OF AMAZONIAN RAIN

ABSTRACT

Highly space-time variability of rain fields shown on multifractal properties have been evaluated through mathematical models in order to explain them properly. Evidences about the multiscaling properties of this field can be seen on Fourier's power spectrum and moment's scaling functions. In this paper a $K(q)$ function that depends on the q order moment is identified, in order to describe the relationship between rain field and the spatial scale L . By the other side, an analysis of some variations on multifractal properties of these fields are pretended to be done. Deep convection in atmosphere has a very wide range in spatial and time scales, so Mesoscale Convective Systems appear to be very important not only in energy and momentum distribution but in water distribution over the tropics. These systems can be identified in radar images because its size is bigger than 100 km long, so rain multifractal properties can be identifiable on them.

Keywords: Meteorology, Multifractal Properties, Amazonian Rain.

1. INTRODUCCIÓN

Estudios anteriores han mostrado la alta variabilidad espacio temporal que es intrínseca a los campos de lluvia. Esta variabilidad se ha venido analizando de diversas maneras, y se ha tratado de hacer un ajuste de estas propiedades a diversos modelos matemáticos con el fin de representarlas adecuadamente. Existe alguna evidencia de que estos campos presentan rasgos de multiescalamiento ([1], [2], [3], [4], [5]), observada básicamente en la estructura del espectro de potencias de Fourier y en la función de escalamiento de momentos. El objetivo de este trabajo es identificar una función $K(q)$ dependiente del momento de orden q , que describa la relación existente entre el campo de la lluvia que se denomina λ y la escala espacial que se denomina λ . La relación es de tipo

$$M_q(\lambda) = \langle |\phi_\lambda(x, y)|^q \rangle = \lambda^{K(q)}$$

donde $M_q(\lambda)$ representa

el momento de orden q en la escala λ . Carvalho y otros autores [6], han ajustado algunos parámetros a una función de probabilidad particular que describe el comportamiento de la función $K(q)$ la cual se deriva de la teoría de las cascadas multiplicativas. El objetivo de este trabajo es examinar las variaciones en algunas propiedades multifractales de los campos de lluvia, expresadas en los parámetros de la ecuación para $K(q)$ a partir del análisis de escalamiento de momentos. La convección profunda, que es una característica muy frecuente en los eventos de lluvia tropicales, se manifiesta en la atmósfera dentro de un amplio rango de escalas espaciales y temporales. Los complejos convectivos de mesoescala cumplen un papel fundamental en la distribución de energía, momento y agua particularmente sobre los trópicos. Estos sistemas pueden ser identificados a través del radar debido a que su tamaño en escala lineal es superior a 100 km [7]. De la misma manera, es posible hacer una identificación más precisa a través de imágenes de satélite mediante las temperaturas de brillo captadas por el instrumento.

2. DATOS

Los datos utilizados para este estudio proceden directamente de las campañas de medición del proyecto TRMM-LBA realizada entre el 10 de Enero y 28 de Febrero de 1999 en la región amazónica de Rondonia. Los datos son el resultado del

procesamiento de información de un radar que estuvo ubicado a 62 W, 11.2 S, con un radio de influencia de 100 km. Los datos extraídos están disponibles en la página web [8]. Estos, tienen asociada la distancia en km desde el radar en la dirección norte-sur y este-oeste, y un valor de intensidad de precipitación en mm/h. La 0 muestra la zona de estudio. La Figura 2 es un ejemplo de la representación gráfica de una serie de datos.

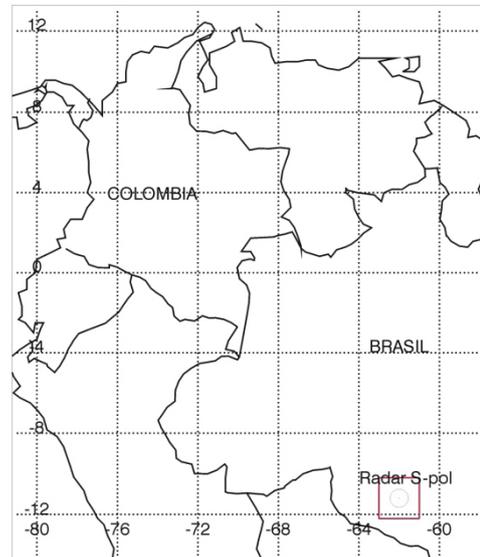


Fig 1. Zona de Estudio y localización del radar

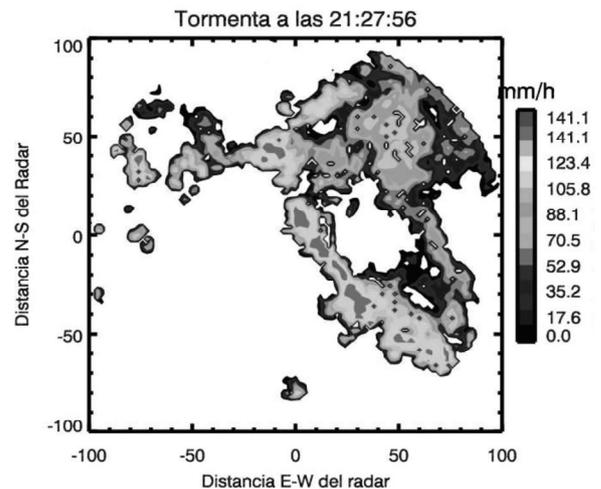


Fig 2. Ejemplo gráfico de los datos de radar proporcionados por el proyecto TRMM-LBA.

En total se tomaron 12 eventos de precipitación de los registrados en los casi dos meses de campaña. Algunos de ellos han sido reportados como sistemas convectivos de mesoescala (SCM) por

otros autores. La Tabla 1 presenta los datos tomados y las referencias para aquellos reportados como SCM. La selección de los datos se realizó considerando como importantes aquellos que tuvieran cubrimiento espacial con radio aproximado a los 100 km e intensidades de precipitación del orden de 80 mm/h.

Tabla1. Relación de datos utilizados para el análisis

No.	Fecha (AMD)	Hora Inicial (LTC)	Hora Final (LTC)	No. de grupos de datos	Clasificación
1	990111	16:51:09	18:35:54	11	
2	990112	17:34:50	18:45:45	7	
3	990113	17:06:41	21:08:00	22	
4	990114	13:13:36	14:34:04	9	
5	990115	16:02:30	17:58:51	13	
6	990116	00:02:47	01:44:06	9	
7	990126	19:45:17	22:18:05	13	SCM [9]
8	990201	19:27:33	23:17:18	21	
9	990215	01:16:55	05:37:15	28	SCM [6]
10	990220	18:35:42	20:37:06	11	
11	990225	21:56:20	01:07:59	18	SCM [9]
12	990228	14:53:07	21:36:09	5	

Los resultados para los eventos con menos datos (eventos 2, 4, 6, 12), son poco representativos pero aún así se incluyen en el análisis. Cabe resaltar que estos datos presentan una limitación en cuanto que a partir de ellos no puede decirse ciertamente si son o no son SCM, ya que las características de estos sistemas se infieren de las imágenes de satélite. De esta manera, los eventos 7, 9 y 11 se han clasificado como SCM por otros métodos que no son del alcance de este trabajo. Para controlar y verificar que los datos se lean correctamente se generaron imágenes semejantes a la de la Figura 1 para todos los eventos y se compararon visualmente tanto en la forma como en el máximo valor de intensidad de precipitación con imágenes disponibles en la página web del proyecto TRMM-LBA.

3. ASPECTOS TEÓRICOS Y METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el análisis de los datos en el contexto de las propiedades multifractales de los campos de lluvia a la luz del modelo teórico presentado por Carvalho y otros [6], es necesario verificar que la hipótesis de multiescalamiento se

cumple en estos campos de lluvia, ya que en caso contrario, tratar de hacer ajustes a un modelo multifractal será totalmente arbitrario. Para tal fin se hizo uso de la teoría de escalamiento de momentos de la cual se presenta una breve revisión teórica, para proceder a la aproximación metodológica que se hace respecto al modelo propuesto por Carvalho y otros [10]

3.1 Análisis de escalamiento de momentos

Los momentos multiescala de cualquier campo ϕ se calculan para un rango de escalas promedio λ , donde a mayor λ , se tiene menor escala, así:

$$M_q(\lambda) = \langle |\phi_\lambda(x, y)|^q \rangle = \lambda^{K(q)} \quad (1)$$

Donde ϕ_λ representa los valores del campo en la escala λ , q es el orden del momento y $\langle \rangle$ denota el promedio sobre todos los pixeles en la escala λ sobre una imagen formada por los datos del campo. El análisis de escalamiento de los momentos da información respecto a la intermitencia de un campo. Para interpretar los resultados de un análisis de escalamiento de momentos, considere un campo muy intermitente con picos muy localizados y gradientes muy fuertes. A medida que se disminuye la resolución del campo, se disminuirá también el valor de los picos debido a que estos se promedian con valores alrededor que no necesariamente son altos. Para momentos de orden q superior a 1 el ejercicio de promediar los campos tendrá como resultado momentos reducidos conduciendo a la obtención de pendientes negativas en un diagrama de momentos vs. Escala r . Por otro lado, si el campo es muy suave, los picos no serán tan característicos ni estarán tan localizados, de modo que las pendientes serán menores. El escalamiento de los momentos ocurrirá cuando [10]:

$$M_q(\lambda) \sim \lambda^{K(q)} \quad (2)$$

Donde $K(q)$ es el exponente de la función de escalamiento de momento de orden q , estimado mediante una regresión lineal en el espacio log-log del momento q del campo ϕ_λ versus λ . Es claro que $K(1) = 0$, porque la media es independiente de la escala. Para comprender adecuadamente lo que significa el escalamiento múltiple se sugiere revisar bibliografía adicional. ([2], [3], [11], entre otros)

3.2 Aproximación metodológica al modelo de variación del exponente de escalamiento $K(q)$

A partir de los datos generados por el proyecto TRMM-LBA, el estudio de las diversas variables climáticas en la región amazónica se ha incrementado considerablemente en los últimos años. Dentro de los resultados obtenidos en este tiempo, se encuentra el trabajo desarrollado por un grupo de investigadores en la línea de la investigación meteorológica. El estudio de SCM es de especial interés en esta área del conocimiento ya que ellos constituyen un mecanismo muy importante en el transporte y distribución de energía, momento y vapor de agua particularmente sobre los trópicos. Se presenta a continuación una breve introducción a los conceptos básicos sobre los SCM, ya que estos constituyen la base para la investigación de Carvalho y otros [6], la cual es a su vez la base fundamental para este análisis.

3.2.1 Sistemas convectivos de mesoescala

Los SCM se presentan de diversas formas aunque en sí mismos ellos poseen características en común, como por ejemplo el hecho de que la cobertura espacial de los mismos es bastante grande, y puede estar formada en parte por lluvia de tipo convectivo y por lluvia de tipo estratiforme. Houze [7] define un SCM como un sistema nuboso que ocurre acompañado de tormentas eléctricas y produce un área continua de precipitación cercana a 100 km o más en la escala horizontal, por lo menos en una dirección. Esta definición permite identificar algunos SCM como grandes pero angostos.

Los SCM pueden ser reconocidos mediante fotografías infrarrojas de satélite por el tope frío de las nubes. Este mecanismo puede ser muy útil si se da un umbral de temperatura para definir la frontera entre un SCM y otro sistema diferente. Uno de los SCM mas grandes es el llamado Complejo Convectivo de Mesoescala, el cual tiene unas características muy definidas de acuerdo a la definición de Houze [7]. Estas características están asociadas a las temperaturas de brillo del tope de la nube, y es precisamente en esto en lo que se basa el modelo de Carvalho y otros [6], para definir un campo espacial con características de multiescalamiento.

Es importante notar que todo el desarrollo teórico que han hecho estos investigadores [6], está aplicado a un campo de gradientes de temperatura

de brillo $|\nabla T_b|$, pero esto no significa que no pueda ser aplicado en otros campos. Otra característica importante de los SCM es que estos pueden durar desde horas hasta días enteros, sin embargo no es fácil inferir características más específicas de un SCM a partir de datos de satélite. En años recientes Carvalho y Jones [12], desarrollaron una metodología para identificar las propiedades de los SCM basado en una técnica de correlaciones espaciales. Una descripción muy amplia de los SCM se presenta en el texto Cloud Dynamics [7]

Es necesaria esta breve introducción ya que los resultados obtenidos por Carvalho y otros [6] están ligados a este tipo de sistemas en particular.

3.2.2 Modelo de variación del exponente $K(q)$

Para explorar algunas propiedades multifractales de los SCM Carvalho y otros [6], parten del hecho de que estos sistemas pueden identificarse en el trópico con un criterio de temperatura de brillo menor o igual que 235 K y con radios mayores a 100 km. La hipótesis que ellos plantean es que los movimientos verticales modifican la variabilidad espacial del campo de temperaturas T_b . Esta variación puede ser estimada como el valor absoluto del gradiente de temperaturas en el tope de la nube $|\nabla T_b|$, el cual puede ser transformado en un campo multifractal φ_λ , donde $\lambda \geq 1$ es la relación de escalas. Para un proceso multifractal como ya se explicó en la sesión anterior, se cumple que el momento estadístico de orden q sigue la ley potencial presentada en la ecuación 1. Suponiendo que la metodología de cascada es la responsable de que φ_λ y $K(q)$ pertenezcan a una distribución estable [6], entonces el exponente $K(q)$, está dado por:

$$K(q) = \begin{cases} \frac{C_1}{\alpha - 1} (q^\alpha - 1) & \alpha \neq 1 \\ C_1 q \ln(q) & \alpha = 1 \end{cases} \quad (3)$$

En este modelo, mayores valores de α implican menor probabilidad de encontrar fluctuaciones lejos de un valor central (que bien podría ser la media). Por otro lado el valor de C_1 está relacionado con el ancho de la FDP y se relaciona con la forma en que está distribuido el campo en el espacio. Por lo tanto el comportamiento de escalamiento de un campo se puede describir a partir de α y C_1 . Variaciones en estos coeficientes pueden llegar a

ser muy valiosos en términos de identificar procesos de escalamiento en el campo φ_λ , el cual puede asociarse al desarrollo de SCM.

De la misma manera en que Carvalho y otros [6] han ilustrado esta aplicación, es posible, a partir de los datos de radar y conociendo la estructura multifractal de un campo de precipitación, tratar de ajustar estos coeficientes al modelo presentado en este artículo y evaluar su comportamiento de acuerdo a lo observado en los datos. Es necesario en un trabajo futuro, encontrar relaciones entre estos coeficientes y aspectos tan importantes del campo de lluvia como son por ejemplo su cubrimiento espacial, los valores de máxima intensidad de la precipitación, entre otras cosas. Carvalho y otros [6] proponen una solución analítica para la ecuación, pero en este caso se ha encontrado una solución numérica a la misma suponiendo que el valor de α es diferente de cero, por lo que los coeficientes encontrados en cada caso se ajustan sólo a la primera parte de la ecuación 2.

En definitiva el proceso de adaptación de este modelo a los campos de lluvia por radar, consiste básicamente en encontrar la variación temporal de α y C_1 , al modo en que lo llevaron a cabo Carvalho y otros [6], pero mediante un proceso iterativo en la computadora.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se pueden dividir en dos partes fundamentales. La primera de ellas hace referencia a los resultados obtenidos en trabajos anteriores con estos mismos campos de precipitación en los que se observaba ya un comportamiento de multiescalamiento. Estos resultados previos obtenidos a partir del espectro de potencias de Fourier, y unas FDP para evaluar las distancias del escalamiento simple al múltiple para estos eventos y otros adicionales [13], conducen los resultados obtenidos en este trabajo.

El análisis de escalamiento de momentos haciendo uso de las ecuaciones propuestas por [1] conduce al hecho de que las lluvias analizadas en esta investigación, son de tipo multifractal. Esto se puede concluir gracias a que la gráfica de $K(q)$ vs. q no se ajusta a una recta, lo que significaría que el escalamiento es simple, sino que se aleja de ella.

La 0 es un ejemplo de lo que se encontró en la mayoría de los eventos. Es necesario anotar que en los eventos en los que los datos están espacialmente muy dispersos estos resultados no son tan evidentes, aunque las características generales de multiescalamiento no varían. Esto puede estar asociado a que tales eventos no son representativos de manera suficiente en el espacio, introduciendo errores en los cálculos por la cantidad de píxeles vacíos. Se calcularon en total 167 escalamientos de momentos para todos los grupos de datos de los 12 eventos, y en general, el patrón observado es semejante al observado en la figura 3. Ya que el valor de $K(q)$ no se relaciona linealmente con el orden del momento, se procedió a tratar de ajustar los parámetros C_1 y α , en cada uno de los casos estudiados. Se presentan en particular tres de los doce casos estudiados, que corresponden a aquellos clasificados como SCM.

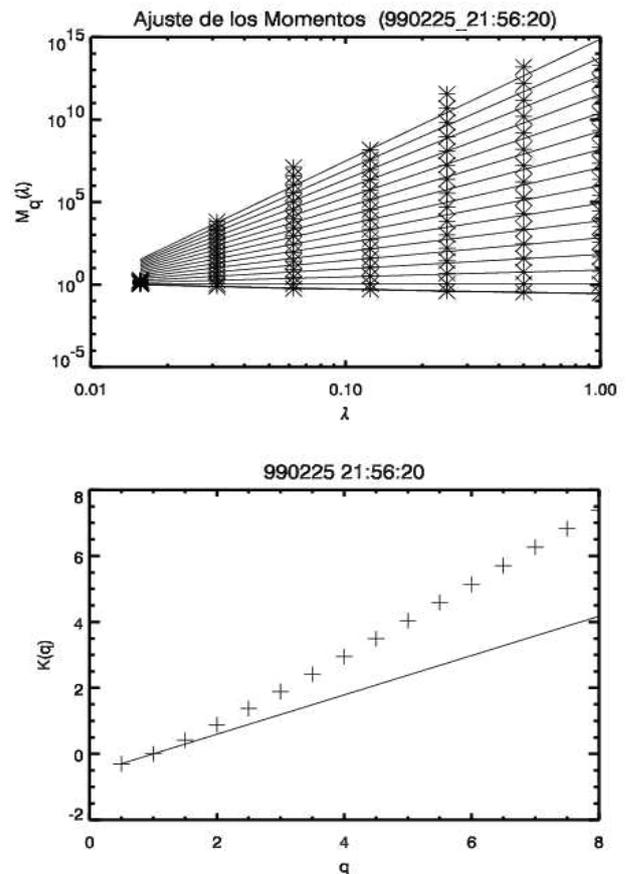


Fig. 3. Ajuste lineal de los momentos con la escala y gráfico de $K(q)$ vs. q . La línea recta hace referencia a la línea de escalamiento simple.

La figura 4 representa la evolución de los coeficientes para el SCM del 15 de Febrero de 1999. En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos para el mismo evento pero en el campo de los gradientes de temperatura de Brillo obtenidos por Carvalho y otros [6]

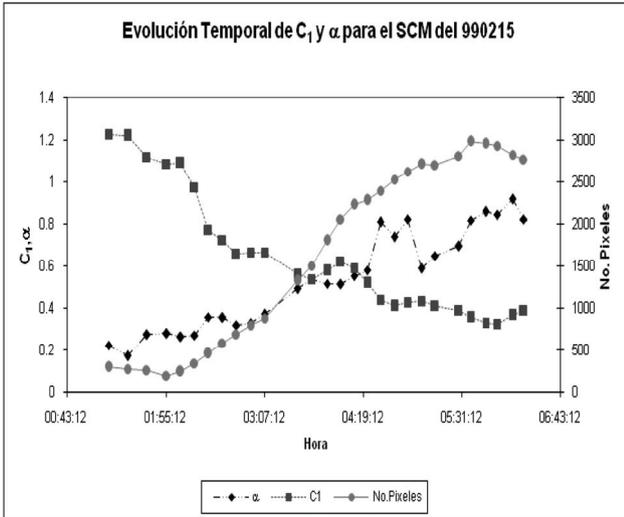


Fig. 4. Evolución Temporal de C_1 y α para el SCM del 15 de Febrero de 1999 en el campo de precipitación.

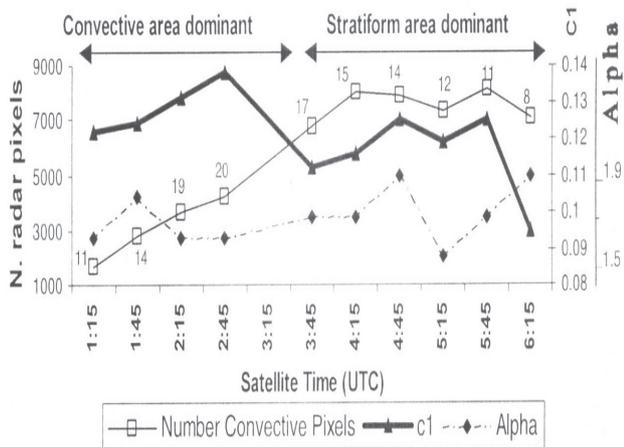


Fig 5. Evolución Temporal de C_1 y α para el SCM del 15 de Febrero de 1999 en el campo de gradientes de temperatura de brillo (Tomada de [6])

Se observa una cierta semejanza en el comportamiento de los coeficientes, principalmente en el C_1 y en la forma que este conserva para

ambos casos. Aparentemente está asociado al número de píxeles, parámetro que en ambas figuras conserva una estructura semejante, y al ciclo de vida del SCM. En el artículo base de este trabajo se habla de que el incremento en C_1 alcanza su máximo cuando la diferencia entre el área convectiva y estratiforme es máxima (alrededor de las 2:45 LTC o UTC), mientras que va disminuyendo a medida que domina la precipitación estratiforme. Este es un resultado muy importante en cuanto a los datos obtenidos por satélite, pero deja entrever una avenida de trabajo muy interesante en el sentido de que si este comportamiento se observa también en los datos de radar, a partir de estos solamente, se podrían identificar algunas características importantes de los SCM, considerando la hipótesis ya verificada de que los campos de lluvia son multifractales, cabe anotar que son campos diferentes, y que la semejanza se atribuye a la distribución del campo en el espacio y no al valor de las variables como tal.

El trabajo de Carvalho y otros [6] es más extensivo en el sentido de que ellos han clasificado los SCM en sistemas del este o del oeste, e infieren en el hecho de que el valor de α es más significativo cuando los sistemas son del este. Una descripción amplia en relación a si los sistemas son del este o del oeste puede verse en [14] y la bibliografía allí mencionada. Sin embargo se puede observar que la estructura temporal de los valores de α en este análisis, se asemeja a la obtenida por Leila Carvalho y su grupo de investigación. Existe una marcada diferencia entre estos dos resultados en cuanto al valor inicial de C_1 . Esta diferencia puede estar asociada al valor inicial o la semilla del proceso iterativo realizado para encontrar el óptimo que minimice el error.

Las Figuras 6 y 7, presentan los resultados para los otros dos SCM clasificados en la literatura científica. En ellas se puede observar que los resultados en órdenes de magnitud y en estructura son muy semejantes. Particularmente el caso del 26 de Enero presenta una estructura similar a la del 15 de Febrero, lo que podría indicar que la dinámica del SCM fue semejante, aunque las horas del día en las que se dieron ambos eventos son diferentes.

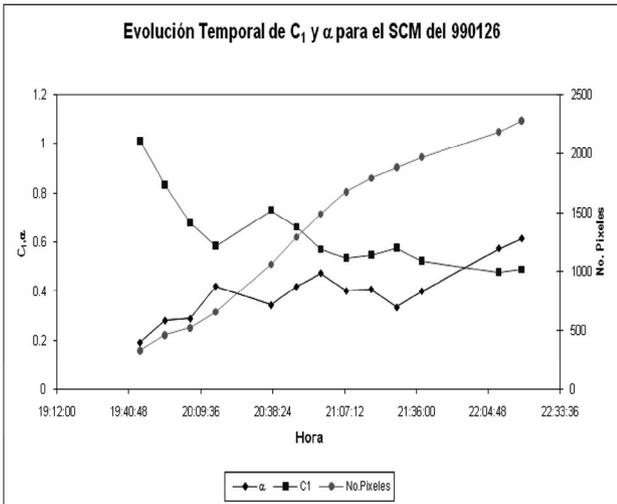


Fig 6. Evolución Temporal de C_1 y α para el SCM del 26 de Enero de 1999 en el campo de precipitación.

evoluciona este sistema en el tiempo. Por este motivo, el poder encontrar relaciones más claras entre estos coeficientes y las principales características de los SCM, sería una herramienta muy poderosa para el análisis de la información, y el estudio de fenómenos de gran escala como los complejos convectivos. Una mirada a los primeros estadios de la tormenta en su etapa de mayor cubrimiento hace pensar en la posibilidad de que esta sea un SCM. La Figura 9 ilustra 6 etapas de este evento en la etapa inicial de cálculo de los coeficientes.

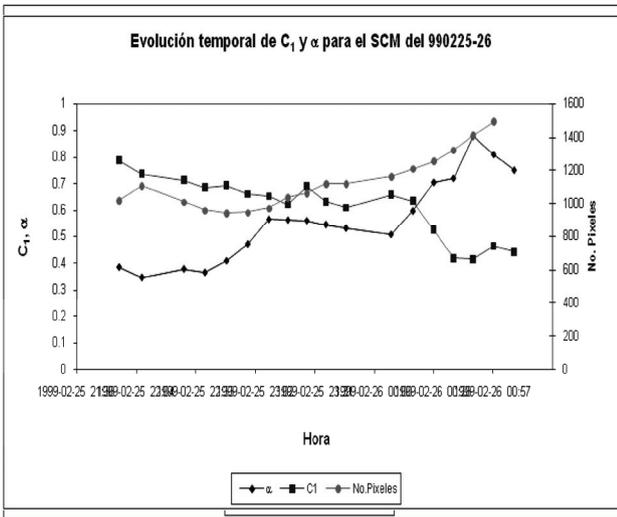


Fig 7. Evolución Temporal de C_1 y α para el SCM del 25-26 de Febrero de 1999 en el campo de precipitación.

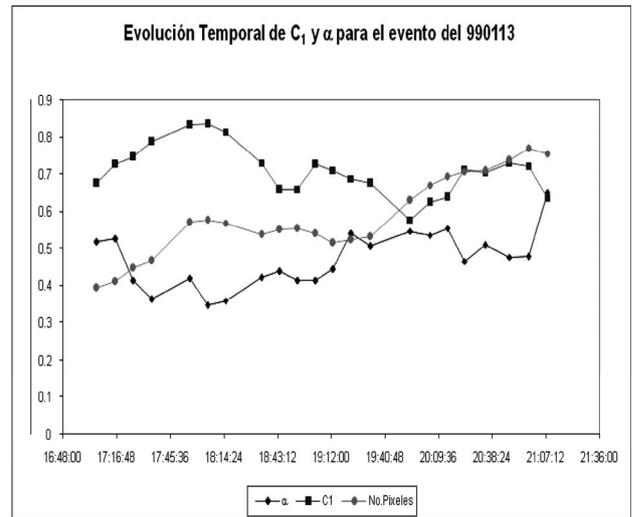


Fig 8. Evolución Temporal de C_1 y α para el evento del 13 de Enero de 1999 en el campo de precipitación.

Dentro de los demás eventos estudiados resulta muy interesante el ocurrido el día 13 de enero de 1999 con un total de 22 grupos de datos, por su estructura, es muy semejante a los tres casos reportados anteriormente (Ver Figura 8), pero no se puede decir con exactitud si es o no es un SCM, cuáles son sus características principales y cómo

Estos resultados permiten descubrir en la multifractalidad del campo de la lluvia un elemento muy fuerte para su descripción y además, mediante el ajuste a modelos matemáticos como este que se presenta en el desarrollo del trabajo, inferir otras características como los ciclos de vida de SCM, en caso de que los campos de precipitación sean sistemas de este tipo.

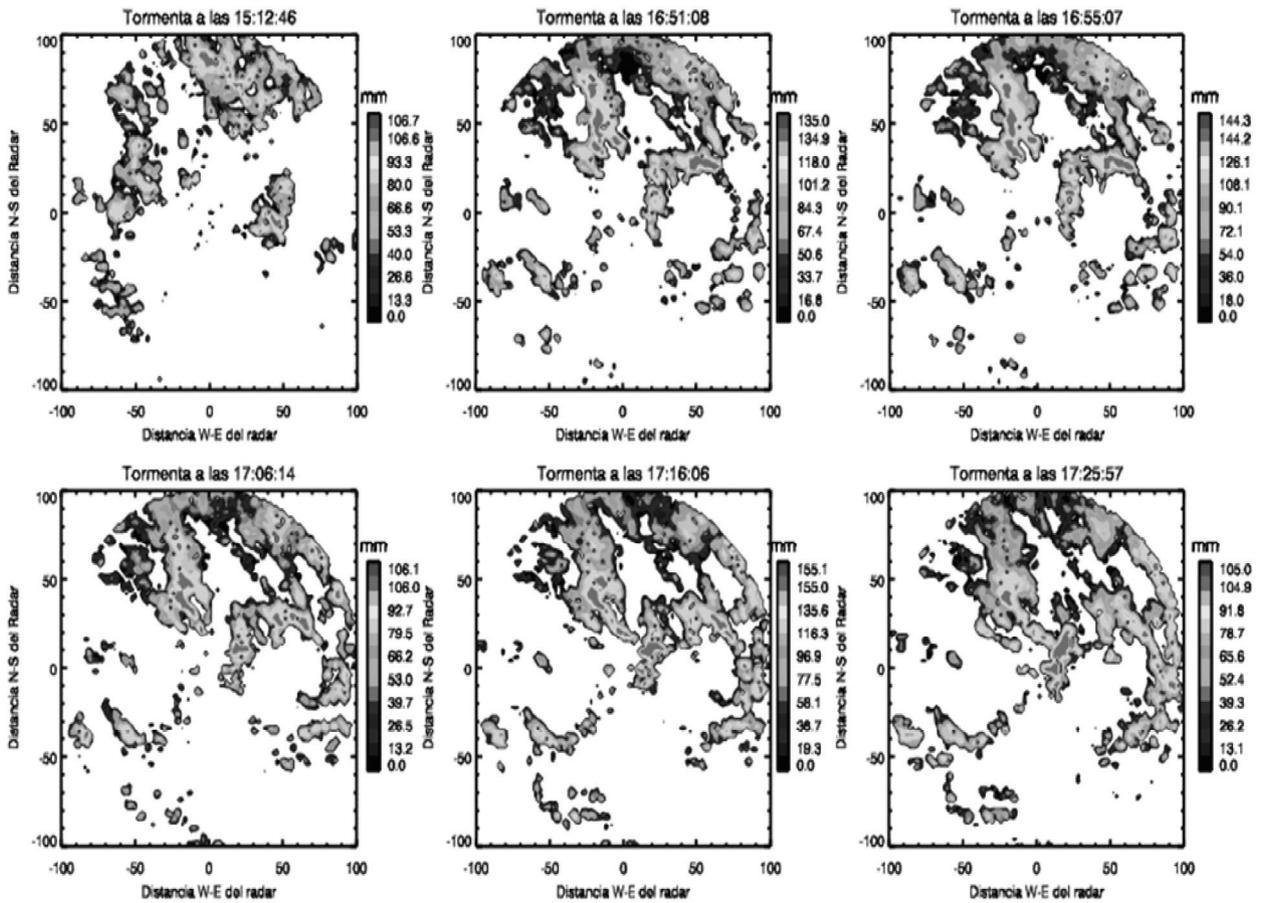


Fig 9. Evolución temporal del evento del 13 de Enero de 1999

5. CONCLUSIONES

A partir de este trabajo se reconoce la potencia que tienen las herramientas de análisis de escalamiento para describir un campo cualquiera que este sea. El hecho de que el modelo estuviese aplicado a un campo de gradientes de temperatura de brillo no limitó en ningún momento su aplicación a un campo diferente como el de la lluvia. Claro está que ellos se encuentran relacionados entre si, pero que la adaptación del modelo no es dependiente de tal relación.

Es muy importante reconocer la validez que tiene el buscar funciones que describan adecuadamente la forma en que las pendientes de la relación momento de orden q , versus el orden del momento se relacionan, ya que al identificar su estructura de multiescala, el conocimiento y entendimiento de esta se transforma en una tarea fundamental para apreciar de manera mas amplia y seria los

fenómenos que tienen estructura de múltiples escalas. Adicionalmente, el poder relacionar los valores de un parámetro que se deriva de un modelo matemático con base física, con las características de un evento de carácter fractal, en este caso la lluvia, es una ganancia muy grande porque pone al alcance el evento mismo, y trasciende lo meramente teórico para sustentar con elementos numéricos unas hipótesis definidas. Se observa por ejemplo que a mayores valores de C_1 , están asociadas las fases convectivas de los SCM, mientras que una disminución de este coeficiente, indicaría que en estos sistemas, la fase estratiforme es más dominante.

Es necesario ahondar en el estudio estadístico descriptivo y físico de los dos coeficientes tratando de encontrar relaciones entre estos y las áreas de cobertura del evento, las variaciones en los valores de la intensidad de la lluvia, etc. En este sentido, si se logra obtener una relación coherente, esta

metodología podría ayudar a definir aspectos desde los datos de radar que algunas veces se desconocen.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Harris, D., E. Foufoula-Georgiou, K. Droegemeier, and J. Levitt. Multiscale statistical properties of a high resolution precipitation forecasts, *J. Hydromet*, 2(4), 406-418, 2001.
- [2] Deidda, R., R. Benzi, y F. Sicardi. Multifractal modeling of anomalous scaling laws in rainfall. *Water Res. Res.*, 35, 1853-1867, 1999.
- [3] Gupta, V.K. y E. Waymyre. A statistical analysis of mesoscale rainfall as a random cascade. *J. Appl. Meteor.*, 32, 251-267, 1993.
- [4] Laurent, H., L. Machado, C.A. Morales, L. Durieux. Characteristics of the Amazonian mesoscale convective systems observed from satellite and radar during the WETAMC/LBA experiment. *Jour. Geop. Res.* Vol 107, # D20, 2002
- [5] Mejía, J.F. Ciclo diurno de la lluvia y ambientes atmosféricos en sistemas convectivos de meso-escala sobre Colombia y el este del Océano Pacífico usando datos de la TRMM y del Reanálisis del NCEP/NCAR. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 2002
- [6] Carvalho, L.M.V, D. Lavallée and Ch. Jones. Multifractal properties of evolving convective systems over tropical South America. *Geoph. Res. Lett.* Vol 29, No. 0, 2002.
- [7] Houze, Robert A. Jr. *Cloud Dynamics*. International Geophysics Series, Volume 53. Academic Press, Inc. 1993
- [8] NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center Advancing Understanding and Prediction of Climate Variability. Disponible en: http://tornado.atmos.colostate.edu/lbadata/radar/radar_main.html [consultado en febrero de 2009].
- [9] Cifelli, R., M.A Silva Dias, W.A. Petersen, L.D. Carey and S.A. Rutledge. Radar Observations of the kinematic, microphysical, and precipitation characteristics of two MCSs in TRMM LBA. *Jour. Geop. Res.* Vol 107, No. D20, 8077, 2002.
- [10] Harris, D., E. Foufoula-Georgiou, K. Droegemeier, y J. Levitt. Multiscale statistical properties of a high resolution precipitation forecasts, *J. Hydromet*, 2(4), 406-418, 2001.
- [11] Gupta V.K. y G. Poveda, Notas del curso de Hidrología de Múltiples Escalas. 2001
- [12] Carvalho, L.M.V. and C. Jones. A Satellite method to identify structural properties of mesoscale convective systems based on maximum spatial correlation tracking technique (MASCOTTE), *J. Appl. Meteor*, 1683-1701, 2001
- [13] Pérez J.D. Caracterización de la variabilidad espacial y temporal de los campos de lluvia en la zona noroeste de la cuenca amazónica brasilera Trabajo no publicado, 2004.
- [14] Petersen, W.A., S. Nesbitt, R. Blakeslee, R. Cifelli, P. Hein, Steven Rutledge. TRMM Observations of intraseasonal variability in convective regimes over the amazon. *Jour. Of Climate* Vol 15, No. 11, 2002