

LOS SISTEMAS CONVECTIVOS DE MESOESCALA SOBRE LA CUENCA DEL PLATA: LA TÉCNICA FORTRACC

Daniel A. Vila¹, Instituto Nacional del Agua, Ezeiza, Buenos Aires, Argentina.

Luiz Augusto Toledo Machado², DSA, CPTEC-INPE, Cachoeira Paulista, Brazil.

Ines Velasco³, DCAyO, FCEN, UBA, Buenos Aires, Argentina.

RESUMEN

La técnica ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters) es un método automático para la documentación de las características físicas de los Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) a través de todo su ciclo de vida, usando información de los canales térmicos (10.8 μm) de los satélites geoestacionarios. Las principales características de este sistema son las siguientes: Un método de detección de nubes convectivas (“*clusters*”) basado en un umbral de temperatura (235 K); el cálculo de los parámetros morfológicos y radiativos de cada SCM detectado en el paso anterior; el algoritmo de seguimiento en basada en la superposición de áreas entre imágenes sucesivas; la construcción del ciclo de vida de cada SCM (*familias*) y la generación de imágenes virtuales. Esta metodología ha sido aplicada a un conjunto de datos durante el periodo SALLJET sobre la cuenca del Plata. Los principales resultados son: (1) El tiempo de vida medio de los SCM es de 4 horas mientras que el tamaño máximo medio de los mismos es de 14000 km². (2) La iniciación de los SCM coincide con el horario de la máxima insolación, lo que viene acompañado por un proceso de fuerte expansión; (3) la mayor actividad convectiva es nocturna.

ABSTRACT

The ForTrACC technique (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters) is an automated method to document physical characteristic of mesoscale convective systems (hereafter MCSs) during its whole life cycle using the thermal channel (10.8 μm) of geostationary satellites. The main features of this software are the following: the cloud clusters detection method based on a threshold temperature (235 K); the evaluation of morphological and radiative parameters of each MCSs detected in the previous step; the tracking technique based on overlapping areas between successive images; the life cycle building (*families*); and the virtual image generation. This methodology has been applied to a data set covering SALLJET project period over Del Plata basin. The main results are: (1) the mean lifetime is around 4 hours, while the maximum mean size is 14000 km². (2) The spontaneous

generation of the MCS is coincident with maximum insolation time, this process is accompanied by a strong area expansion; (3) the maximum convective activity occurs during the night.

INTRODUCCION

En Argentina los fenómenos convectivos son bien conocidos, especialmente por los daños que estos causan. Las tormentas de Goya (1998) y Santa Fe (2003) son particularmente recordadas por la población argentina debido a los efectos devastadores sobre la población y sobre los efectos negativos que han tenido sobre la economía regional. En este último caso, de acuerdo con estimaciones del Instituto Provincial de Estadística y Censos (IPEC), 81.528 pobladores de la ciudad de Santa Fe resultaron damnificados (una tercera parte de la ciudad quedó bajo las aguas) y la estimación de CEPAL, agencia de la ONU encargada de la elaboración de estudios económicos, eleva el monto de los daños hasta un total de \$ 2.878 millones.

Las mediciones realizadas a través de satélites no solo sustituyen a otros sistemas de medición como estaciones de superficie y radar, sino que complementan a dichas medidas en dos formas: mientras que las mediciones realizadas a través de un radar meteorológico es sensible a la "lluvia", las longitudes de onda que se utilizan en los satélites son sensibles a las nubes, incluidas aquellas asociadas con la convección. Por otro lado, solamente las mediciones realizadas a través de satélite pueden cubrir un amplio rango de escalas temporales y espaciales involucradas con los ciclos de vida de los SCM. Solamente con el uso de estos sistemas de medición indirecta es posible el monitoreo de sistemas de algunos cientos de kilómetros de extensión y su interacción con la circulación en gran escala (Machado et al 1998).

Diferentes trabajos han usado imágenes de satélite para el estudio del ciclo de vida de los SCM. La mayoría de ellos se basaron sobre el uso de los canales infrarrojos y/o visibles de los satélites meteorológicos geoestacionarios (Velasco y Fritsch 1987, Duvel 1989, Laing y Fritsch 1993a 1993b, Machado y Rossow 1993 entre otros). Mas recientemente la introducción de sensores que actúan en el espectro de las microondas, tanto activas como pasivas, sobre los satélites de órbita polar y aquellos diseñados para el estudio de la distribución de la precipitación en los trópicos (Tropical Rainfall Measurement Misión - TRMM) han provisto una fuente adicional de información. (Mohr y Zipser 1996, Kummerow et al 2000, Ferraro 1999).

Este trabajo se inscribe en la serie de herramientas que permiten el estudio del ciclo de vida de sistemas convectivos de mesoescala (SCM) a partir del uso de los canales térmicos de los satélites geoestacionarios. Mas precisamente, el objetivo de este estudio es desarrollar un sistema de seguimiento de sistemas convectivos utilizando los datos del canal 4 (10,4 μm) del satélite GOES 8 y, a partir de la herramienta desarrollada, crear una base de datos con las características radiativas y morfológicas de los SCM, como así también sobre el estado de su ciclo de vida (iniciación, maduración

y disipación). La región de trabajo es aquella comprendida entre los paralelos 35° S y 22° S sobre el continente sudamericano para el periodo que cubre el proyecto SALLJET (Diciembre 2002, Enero y Febrero de 2003).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de este trabajo se contó con imágenes de satélite GOES 8 (75° W, 0°) con una resolución espacial de 4 km x 4 km y una resolución espacial de ½ hora correspondientes al canal 4 (10.7 μm , infrarrojo térmico). Estas imágenes fueron provistas por el Centro de Previsión del Tiempo y Clima (CPTEC) dependiente del Ministerio de Ciencia y Tecnología de Brasil. El sector sobre el cual se trabajó es el SHEM (Southern Hemisphere Scan) que cubre desde 20° S hasta 45° S aproximadamente, lo que cubre gran parte de la Cuenca del Plata (Figura 1). Las imágenes originales, en proyección satélite, fueron corregidas tanto geométrica como radiométricamente. En el primero de los casos, la imagen fue re proyectada a una proyección latitud-longitud utilizando una metodología de remuestreo usando el píxel vecino mas cercano. En el segundo caso, la temperatura original fue corregida de acuerdo con el ángulo zenital entre el satélite y el píxel dado (falta referencia...). Asimismo se realizó un control de calidad sobre píxeles y líneas con fallas, corrigiendo o rechazando las imágenes según un criterio de porcentaje de fallas existentes (hasta un 15%) en cada imagen.

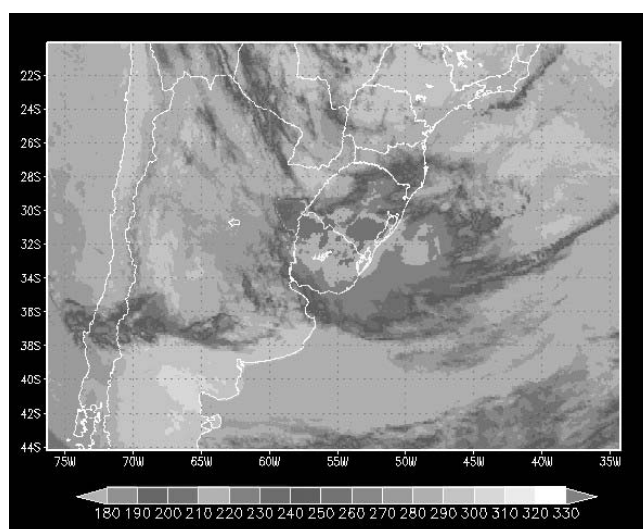


Figura 1: Imagen correspondiente al 4 de diciembre de 2002 –11:45 en la que se muestra la región geográfica de estudio

El periodo de estudio es el comprendido entre diciembre de 2002 y febrero de 2003 y para el cual se contaron con 2497 imágenes, lo que arroja un promedio de aproximadamente 28 imágenes por día. Este valor esta lejos de los 48 imágenes posibles (1 cada media hora) pero existen periodos del día donde esta diferencia entre una imagen y la siguiente es de hasta tres horas, sin contar aquellas imágenes que no cumplieron con el control de calidad impuesto.

En cuanto a la metodología, se utilizo la técnica de ForTrACC (Forecasting and Tracking of Active Cloud Clusters), que es un método automático para la documentación de las características físicas de los Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) a través de todo su ciclo de vida usando información de los canales térmicos de los satélites geoestacionarios. Los principales elementos que componen este sistema son los siguientes: un algoritmo de detección y construcción de conglomerados nubosos ('clusters') usando un umbral de temperatura. En este caso se utilizó la temperatura de 235K para la detección y delimitación de los SCM y 210 K para la detección de conveccion profunda (Laurent et al, 2002); un programa para el cálculo de los diversos parámetros estadísticos y morfológicos de los sistemas hallados en el punto anterior (Vila, 2003; Machado 1998); la técnica de seguimiento en si, basada en la superposición de áreas entre imágenes sucesivas, lo que permite la construcción de las trayectorias de los sistemas a lo largo de su ciclo de vida (*'familias'*) (Mathon et Laurent, 2001 ;Laurent et al, 2002) y la etapa de la generación de imágenes virtuales o sintéticas, utilizadas para cubrir los horarios de imágenes faltantes.

Dado que durante la rutina de recepción del sistema GOES sobre el hemisferio sur (Southern Hemisphere Scan) se producen intervalos mayores a 30 minutos en los cuales no hay imágenes disponibles, es necesario diseñar una metodología para subsanar esta limitación. En particular, en este caso, se decidió aplicar un algoritmo de generación de imágenes virtuales sobre la base de la evolución del ciclo de vida de cada uno los sistemas convectivos detectados en la imagen inmediatamente anterior a la falta de información. Este proceso de extrapolación, se realiza teniendo en cuenta fundamentalmente dos parámetros: la estimación del desplazamiento de un dado sistema convectivo y su fase dentro del ciclo de vida (crecimiento / decrecimiento) del SCM.

Este proceso no es solo utilizado para cubrir aquellos horarios con falta de información sino que también puede ser usado como herramienta para realizar un pronóstico a muy corto plazo ("nowcasting") sobre la evolución de sistemas convectivos. También es importante destacar que esta técnica de extrapolación para cubrir la falta de imágenes reales es aplicada hasta un máximo de 3 horas ya que luego de ese tiempo la calidad de las imágenes virtuales es muy baja. En los párrafos siguientes se realizará una breve descripción de la metodología de estimación de la velocidad y dirección de propagación y tendencia de crecimiento de los SCM.

Estimación de la velocidad y dirección de propagación: A partir del criterio de identificación y seguimiento de un mismo SCM en los tiempos “ $t-2Dt$ ”, “ $t-Dt$ ”, “ t ” (tres imágenes sucesivas), se estima el desplazamiento de un dado sistema convectivo aplicando el siguiente procedimiento:

A velocidad estimada en el intervalo de tiempo anterior (en km/h) es calculada considerando el desplazamiento del centro de masa entre los tiempos “ $t-2Dt$ ” e “ $t-Dt$ ”. De esa manera se obtiene una velocidad $V(t-1)$. Considerando constante esa velocidad (en módulo y dirección), se genera una velocidad prevista $VP(t)$. Simultáneamente es calculada la velocidad real entre el tiempo “ $t-Dt$ ” e “ t ” ($V(t)$). O pronóstico de desplazamiento del sistema convectivo $VE(t+1)$ es calculado como la velocidad en el tiempo “ t ” mas la diferencia entre o desplazamiento real y previsto en el tiempo “ t ” ($DV(t) = V(t) - VP(t)$). Este procedimiento puede ser visualizado en la Figura 2.

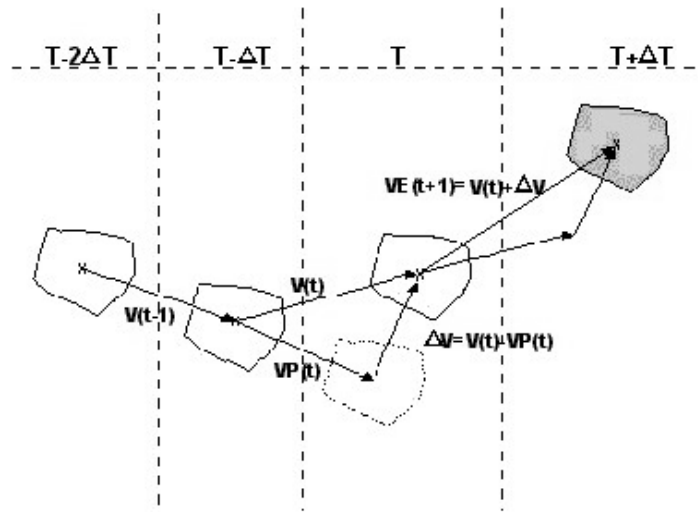


Figura 2: Estimación del desplazamiento del sistema para el tiempo “ $t+Dt$ ”

En el caso de no tener tres imágenes consecutivas, el procedimiento es el siguiente: si solo existen dos imágenes, $VP(t) = VE(t+1)$, mientras que si se trata de la primera imagen de la serie, no es posible aplicar la metodología.

Tendencia de crecimiento del SCM: A partir del estudio estadístico de las familias generadas a partir de conjunto de imágenes de la campaña Wet-Season Atmospheric Mesoscale Campaign (WETAMC) del Large-Scale Biospher-Atmosphere Experiment (LBA) (Nobre et al, 1996, Silva Dias et al., 2000), cuyo nacimiento es espontáneo, no poseen “merge”, ni “split” a lo largo de su ciclo de vida, y su finalización es “normal”, el trabajo estuvo centrado en el estudio de la variable $1/A * (\delta A / \delta t)$ donde A es el área del SCM.

Este parámetro es indicativo del crecimiento (o decrecimiento) relativo de un sistema convectivo con respecto a su área en un intervalo de tiempo δt (1/2 hora en este trabajo). Si el valor es positivo el sistema está en proceso de expansión y su estado es de disipación si el valor fuese negativo.

O objetivo de esta etapa, es la generación de un modelo para la creación de imágenes virtuales a partir de la información del ciclo de vida de los sistemas. Esta información es extraída a partir de las estadísticas del comportamiento de los sistemas convectivos del conjunto LBA RACI. A partir de los trabajos de Machado et al. (1998) y Machado y Laurent (2002) el modelo del ciclo de vida de un SCM puede ser estimado a partir da siguiente ecuación:

$$A(t) = \alpha * e^{at^2+bt+c} \quad (2)$$

donde $A(t)$ es el área del sistema convectivo en función del tiempo, α , a , b e c son parámetros a ser definidos de acuerdo con el tiempo de vida total del sistema. Por lo tanto, el valor $1/A * (\delta A / \delta t)$ son típicamente rectas.

$$1/A * (\partial A / \partial t) = mt + b \quad (3)$$

el valor de m e b dependen del tiempo de vida total del sistema. El estudio estadístico estuvo focalizado en la clasificación en grupos de los sistemas de acuerdo con el tiempo total de su ciclo de vida: menor que 2 horas, entre 2 e 4 horas, 4 a 8 horas y mas que 8 horas.

Para cada grupo fue calculado o valor medio de expansión inicial, el tiempo en que el parámetro $1/A * (\delta A / \delta t)$ estuvo cercano a cero (máxima expansión) y el tiempo de finalización do sistema. El resultado obtenido fue un conjunto de rectas con el valor de $1/A * (\delta A / \delta t)$ para cada uno de los grupos considerados. Estas pueden ser observadas en la Figura 3.

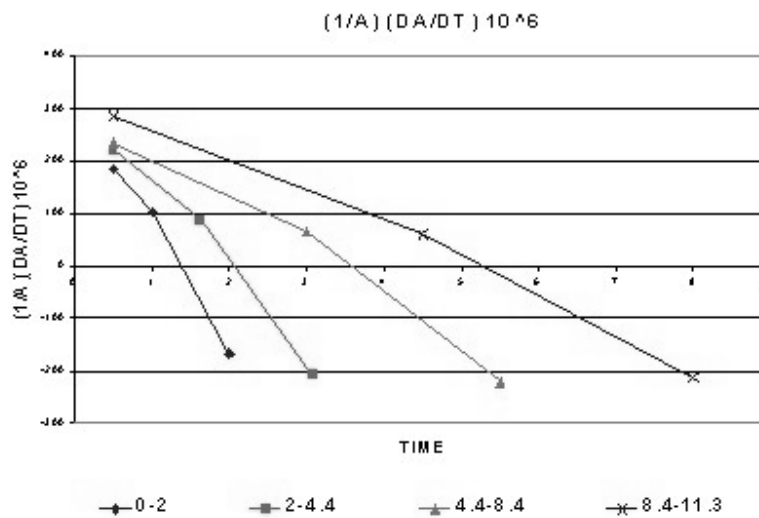


Figura 3: Variación del área con el tiempo con respecto al tiempo de vida total do sistema. Valores positivos indican crecimiento, mientras que los valores negativos significan decrecimiento del sistema convectivo

La primera estimación del tiempo total del ciclo de vida es realizada a partir de la expansión inicial (Machado, 2004). De acuerdo con el modelo propuesto, la evolución de los sistemas en el futuro deberán seguir por la recta determinada por ese valor. En la practica, y debido a que de hecho existen muy pocas trayectorias “puras” (sin fusiones, ni separaciones) y que existen forzantes externos que pueden modificar la tendencia de crecimiento / decrecimiento, el valor $1/A * (\delta A / \delta t)$ es calculado en cada instante de tiempo permitiendo “saltar” de una recta a la otra, en el caso de que exista continuidad en ese instante de tiempo (sin fusiones, ni separaciones).

RESULTADOS

A partir de la muestra considerada y aplicando la metodología propuesta, se obtuvieron aproximadamente unas 9000 familias para todo el periodo. Posteriormente se eliminaron todas aquellas familias en las cuales alguno de sus miembros estuviera en contacto (mas de 10 píxeles) con los bordes de la imagen. Este tipo de familia distorsiona la estadística sobre los parámetros morfológicos del sistema, ya que parte de ella podría estar fuera de los limites considerados en la imagen. Luego de este filtrado, el numero de familias para la confección de las estadísticas decrece a una 8000 aproximadamente.

En un paso posterior, y con el objeto de obtener un conjunto mas homogéneo para estudiar sus características físicas, se consideraron aquellas familias que hayan nacido y finalizado espontáneamente. Es decir, que existe una imagen anterior al nacimiento donde no haya sido detectada y una posterior a su finalización donde ocurra lo mismo. Esto se contrapone a aquellos nacimientos que se producen por ‘split’ o a partir de un nuevo conjunto de datos (no existe la imagen anterior con un tiempo inferior a las 4 horas) o aquellas finalizaciones que corresponden a casos de ‘merge’ o por fin de conjunto de datos. Adicionalmente se exigió que la familias tuvieran al menos 4 miembros (tiempo de vida mayores a 2 horas). No obstante, se permitió la existencia de fusiones y separaciones durante el ciclo de vida de una determinada familia, ya que, de otra manera, el conjunto de datos a analizar sería demasiado pequeño para generar una estadística confiable

A partir de este subconjunto de aproximadamente unas 2000 familias, se realizó un estudio estadístico sobre las diferentes propiedades físicas de los SCMs, como así también sobre la evolución de diversos parámetros radiativos y morfológicos a lo largo de su ciclo de vida.

En primer lugar, de las 2000 familias consideradas en el conjunto anterior, solo 400 llegaron a poseer tope fríos (píxeles por debajo de los 210 K) durante algún momento de su ciclo de vida. Considerando el *tiempo de vida de los SCM*, esta característica (que tengan topos fríos o no) afecta considerablemente la distribución estadística de esta variable (tiempo de vida), ya que, si se considera el conjunto general, el tiempo de vida medio es de aproximadamente 4 horas, mientras que considerando aquellos sistemas que poseen topos fríos, ese valor alcanza las 6 horas de promedio. En la figura 4 se puede observar las distribuciones estadísticas para ambos conjuntos. Este valor es algo menor al encontrado por otros autores (Machado et al,1998; Velasco & Fritsch, 1987). Esta aparente discrepancia se debe, en primer lugar, al umbral de detección utilizado en este estudio (150 píxeles). En este caso se observa la existencia de una gran cantidad de sistemas pequeños y de corta vida por lo que ambas estadísticas no serían directamente comparables entre sí.

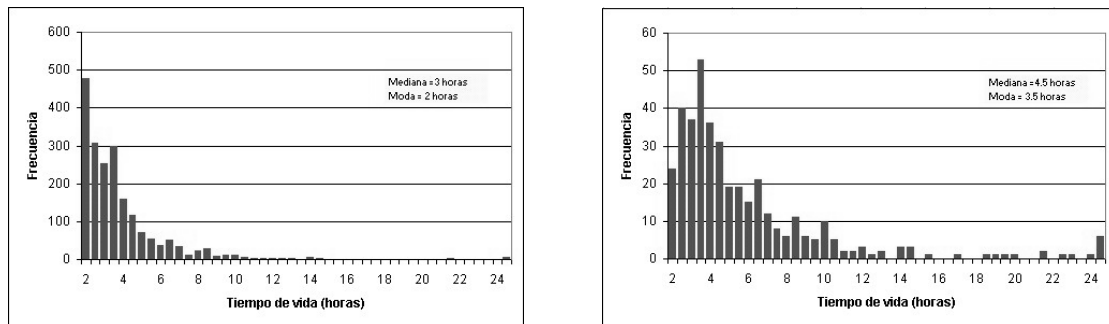


Figura 4: Izquierda: Distribución estadística del tiempo de vida de los SCM para el conjunto total. Derecha: Idem anterior para el conjunto de los sistemas que tuvieron topos fríos durante algún momento de su ciclo de vida.

Esta primera caracterización, nos permite inferir que existe una mayor probabilidad de que aquellos sistemas que alcanzan menores temperaturas posean un mayor tiempo de vida.

Similares características se observan si se estudia el *tamaño máximo medio* de cada familia:: mientras que el tamaño máximo medio dentro del conjunto general es de 860 píxeles (aproximadamente unos 14000 km²), en el caso de aquellos que poseen topos fríos ese valor alcanza a los 2000 píxeles (32000 km²). Este resultado, en forma similar a lo que ocurre con el tiempo de vida medio de los SCM utilizados en este estudio, resulta inferior a los hallados en estudios precedentes (Torres, 2003; Velasco y Fritsch, 1987). La posible explicación es similar a la presentada para los tiempos de vida de los SCM. En este estudio se están incluyendo una gran cantidad de SCM pequeños y de periodo de vida corto que afectan sensiblemente las estadísticas ya que estos representan un gran

porcentaje de los sistemas nubosos presentes en una dada imagen (Vila, 2003), aunque desde el punto de vista de la cobertura nubosa total no tengan una mayor incidencia.

En cuanto a la distribución geográfica de los SCM, se consideró la *iniciación* de un SCM como un parámetro adecuado para la caracterización de las regiones en donde existe actividad convectiva. Dado que la detección de los sistema se realiza a partir de un tamaño relativamente pequeño, es posible considerar a esta posición como el inicio de la convección en si misma. Para ello se calculó la cantidad de sistemas convectivos (frecuencia) que eran detectados por primera vez (por generación espontánea) en una grilla regular de $2^{\circ} \times 2^{\circ}$. En la Figura 5 izquierda se observa que existen tres máximos relativos de actividad convectiva bien definidos. El mas importante esta ubicado sobre la ladera oriental de la cordillera de los Andes en el norte de Argentina y sur de Bolivia sobre las nacientes de los ríos Pilcomayo y Bermejo. Un segundo máximo se ubica sobre las nacientes de los ríos Paraná y Paraguay, coincidiendo aproximadamente con la posición de la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS). Ambas regiones también son detectadas por otros autores (Machado et al, 1998; Velasco y Fritsch, 1987). El tercer máximo se ubica sobre la provincia de Mendoza. Este ultimo esta relacionado con una fuerte actividad convectiva que se produce fundamentalmente por el calentamiento diurno que suele estar acompañado frecuentemente con la ocurrencia de tormentas de granizo (Simonelli,) Ines, cuale es la referencia de su tesis???. En lo que respecta a la trayectoria de los SCM, se calculo la misma en forma similar a como se hizo con la detección de la iniciación de un SCM. A partir de una grilla de $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ se calculó la velocidad media de todos los SCM que atravesaban un determinado punto de grilla. Solo se consideraron aquellos sistemas nubosos que provengan de una continuidad con respecto al tiempo anterior. Esta ultima exigencia se realizó para evitar resultados espurios resultantes de fusiones ("*merge*") o separaciones ("*split*"). En la Figura 5 derecha se observa que, en general, el desplazamiento promedio de los sistemas es hacia el oeste, aunque se observan diferencias de acuerdo con la región geográfica de que se trate: Aquellos sistemas convectivos que se forman sobre el oeste de Argentina (particularmente en la provincia de Mendoza) tienen una escaso desplazamiento por lo que su disipación se produce prácticamente en el mismo lugar donde se generaron. En la región central, es donde los SCM se desplazan mas rápidamente. Esto esta ligado a la actividad de los frentes fríos (en algunos puntos de grilla es notable una pequeña componente norte) que afectan a esta región; mientras que en el norte de la región estudiada la velocidad de desplazamiento tiende a disminuir nuevamente.

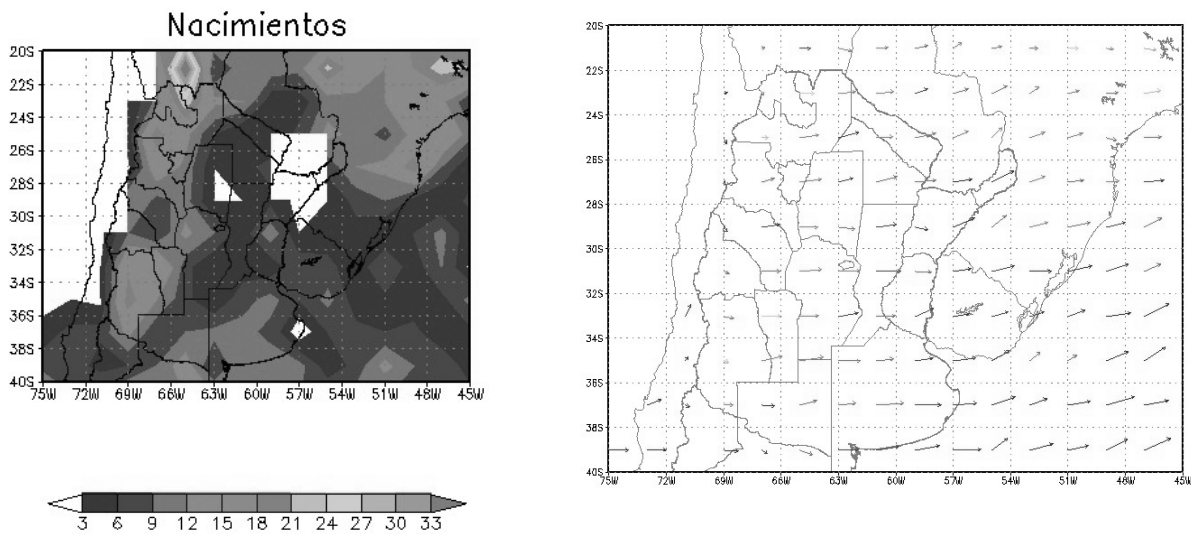


Figura 5: Izquierda: Distribución espacial de la frecuencia de iniciaciones espontáneas (sistemas convectivos nuevos) para el periodo Dic2002-Feb 2003. Derecha: Desplazamiento medio de los SCM para el mismo periodo.

Con respecto a la evolución diaria de algunos parámetros (ciclo diurno), se observa que las iniciaciones son más frecuentes durante las primeras horas de la tarde, en coincidencia con el horario de la máxima insolación. Este tipo de comportamiento podría estar relacionado con el carácter termodinámico de la convección, en especial durante esta época del año. Asimismo se observa un máximo de expansión del área durante esta parte del día. Estas variables están altamente relacionadas dado que a partir del nacimiento de los SCM los mismos comienzan su proceso de fuerte expansión que luego decae durante la tarde y primeras horas de la noche para alcanzar un nuevo máximo secundario durante las últimas horas de la noche y madrugada. Este fenómeno está probablemente asociado, a grandes SCM que se desarrollan durante ese periodo (referencia!!!).(Figura 6)

Este hecho se ve reforzado si se observa la variación diaria del tamaño máximo medio de los SCM (máximo tamaño alcanzado durante su ciclo de vida) y la fracción de área convectiva asociada (topes fríos) a ese horario. En ambos casos el máximo se alcanza durante las últimas horas de la noche y madrugada con un mínimo durante el periodo diurno. Es por ello que la mayor actividad convectiva es esencialmente nocturna en el área de estudio (Velasco & Fritsch, 1987) (Figura 6)

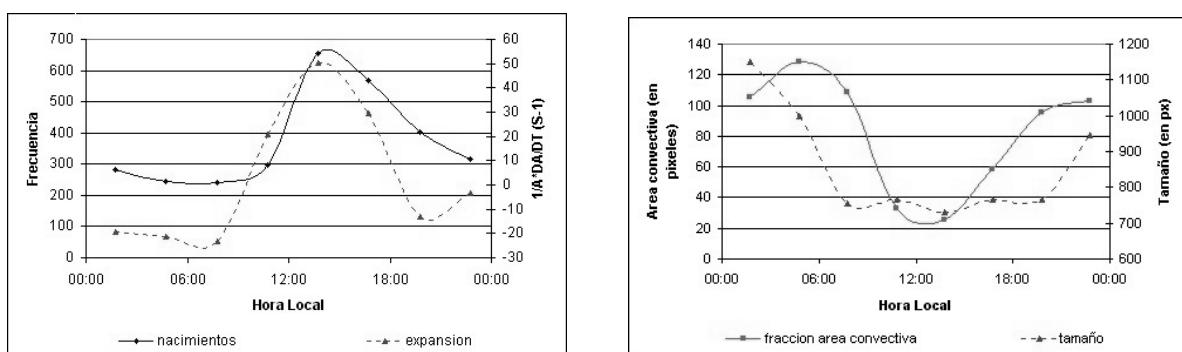


Figura 6: Ciclo diurno de las iniciaciones (frecuencia) y la expansión del area (expresado como $s^{-1} * 10^6$) (izquierda) y el tamaño medio de los SCM y su fracción de área convectiva asociada.

De acuerdo con lo planteado por Machado et Laurent (2004) la variación de tamaño inicial de los sistemas puede considerarse una variable predictora muy importante para estimar el tiempo de vida de aquellos SCM que no superen las 8 horas en su tiempo de vida. Este hecho queda claramente reflejado en la Figura 7 en la que se puede observar que la expansión de tamaño (expresada como $1/A * dA/dt * 10^6$, donde A es el tamaño y dt es la variación de tiempo, en este caso, de media hora) observada entre el nacimiento espontáneo de un dado SCM y el primer intervalo de tiempo es, en promedio para todo el conjunto estudiado, mayor cuanto mayor es el tiempo de vida del SCM. Dicha distribución se ajustó con una función logarítmica cuyo coeficiente de correlación es cercano a 0.97. Algo similar ocurre con la variación de la temperatura mínima, donde se observa que para los sistemas con menores tiempos de vida, en promedio, este valor es prácticamente igual a 0. Es decir, el sistema no varía su temperatura a partir de su primera detección, iniciando así su proceso de disipación (Figura ..). Para tiempos de vida mayores este valor es claramente negativo lo que indica un enfriamiento del tope de la nube acompañado con una expansión del área observada a través de imágenes de satélite.

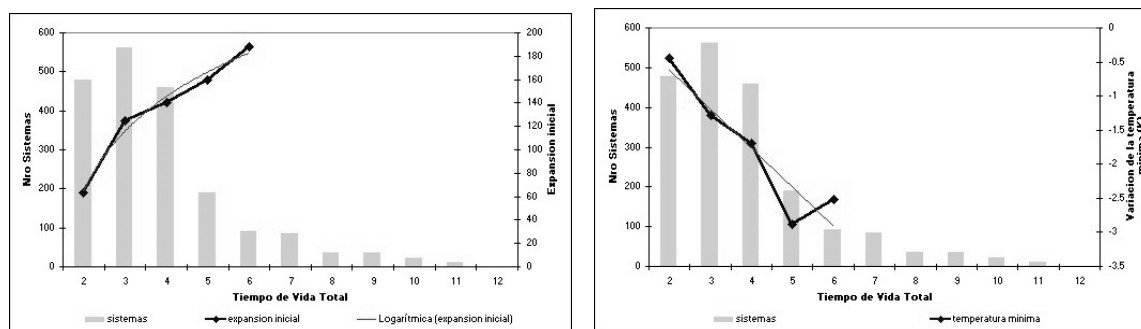


Figura 7: Variación promedio de la expansión del tamaño inicial (izquierda) y de la temperatura mínima (derecha) en función de tiempo de vida total de SCM. En el eje izquierdo de las ordenadas se observa el numero de familias que se consideraron para obtener el valor promedio

Con el objeto de determinar cual de ambos procesos (enfriamiento y expansión del área) sucede primero, se generaron las curvas promedio de variación de tamaño y temperatura mínima a lo largo de su ciclo de vida para los sistemas convectivos con tiempos de vida inferior a 4 horas, de 4 a 8 horas y mayor que 8 horas (Figura 8). En dicha figura se puede observar que el mínimo de temperatura sucede con anterioridad a la máxima expansión (esto es particularmente notable en los sistemas con un mayor tiempo de vida). Este hecho refuerza la hipótesis planteada por Machado y Rossow (1993) en la que proponen un modelo conceptual sobre el ciclo de vida de los SCM, en el que durante la etapa de formación, el SCM primero se enfría para luego expandirse durante la etapa de maduración. Posteriormente, al comienzo de su etapa de disipación, alcanza su máximo tamaño antes de disiparse en fragmentos. Otro hecho para remarcar es que la temperatura mínima durante los primeras etapas del ciclo de vida también puede ser utilizada como un parámetro predictor del tiempo de vida de un SCM. Cuanto menor es su temperatura mínima, mayor probabilidad existe que su tiempo de vida sea mayor. No se observa lo mismo con el tamaño ya que la detección de los sistemas esta relacionado con su tamaño (la primera detección se realiza cuando el área del SCM es mayor a 150 píxeles).

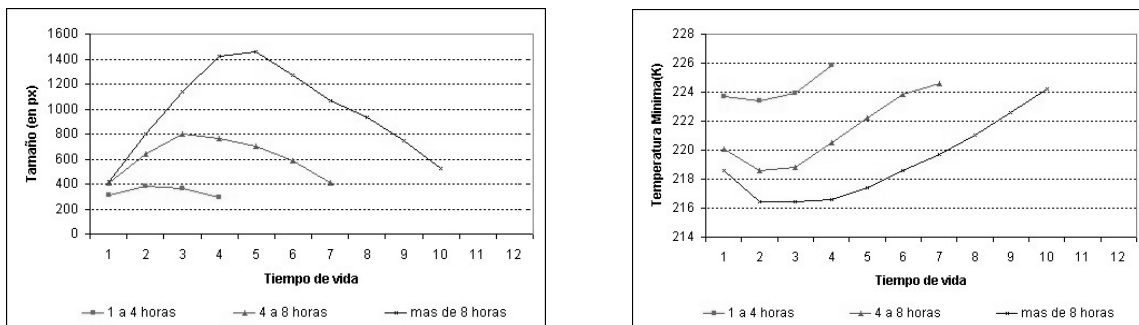


Figura 8 Curvas promedio de variación de tamaño (izquierda) y temperatura mínima (derecha) de los SCM a lo largo de su ciclo de vida para tres diferentes clases: SCM con tiempos de vida inferiores a 4 horas, entre 4 y 8 horas y mas de 8 horas.

CONCLUSIÓN

A partir de las imágenes de satélite de los meses de diciembre 2002, enero y febrero de 2003 se realizó una caracterización estadística de las propiedades físicas de los SCM que afectaron a la cuenca

del Plata durante el periodo considerado. En primer lugar, la muestra contó con aproximadamente 2000 familias cuyo tiempo medio de vida fue de cuatro horas. Es de destacar que la gran mayoría de las familias consideradas tiene un periodo de vida muy corto: el 75% no supera las 4,5 horas, mientras que el 50% no supera las 3 horas de duración. En este caso que solo se incluyen las familias con un periodo de vida superior a las 2 horas. En cuanto al máximo tamaño medio alcanzado por los SCM durante su ciclo de vida, el mismo es de 860 pixeles lo que equivale aproximadamente a 14000 km². Las regiones de mayor actividad convectiva (en cuanto a cantidad de familias que fueron detectadas) son las región oriental de la cordillera de los andes en el norte de Argentina y sur de Bolivia, la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) y la provincia de Mendoza, en tanto que, a partir del estudio de la variación diurna de algunos parámetros, se concluye que las iniciaciones de los SCM ocurren en coincidencia con la hora de máxima insolación y vienen acompañadas con un proceso de expansión. El máximo tamaño medio de los SCM se observa durante la noche y madrugada, y lo mismo ocurre con la fracción de área convectiva. Este hecho permite concluir que la actividad convectiva durante esta época del año es esencialmente nocturna.

Por ultimo, se estudio el comportamiento de las variables expansión media y la variación media de la temperatura mínima para familias con diferentes tiempos de vida. Los resultados arrojados por este estudio indican que la expansión inicial es mayor cuanto mayor es el tiempo de vida del SCM, mientras que sucede lo contrario con la variación de la temperatura mínima. Es de destacar el valor predictivo de ambas variables para determinar el tiempo de vida probable de un SCM dado.

AGRADECIMIENTOS

Agregar los que consideren necesario

REFERENCIAS

Guto: Necesito la referencia de tu ultimo trabajo del MWR