

ESTUDIO DE LA ORGANIZACIÓN Y CONDICIONES DEL ENTORNO DE EVENTOS ALTAMENTE PRECIPITANTES EN LA REGIÓN CENTRAL DE ARGENTINA

Laura Pappalardo¹, Paola Salio^{2,3,4}, Luciano Vidal¹
lpappalardo86@gmail.com.ar

¹ Servicio Meteorológico Nacional

² Centro de Investigaciones del Mar y la Atmosfera CIMA - CONICET.

³ Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, FCEyN, UBA

⁴ UMI-IFAECI 3351-CNRS-CONICET-UBA

RESUMEN

El estudio de eventos altamente precipitantes es muy importante debido a las consecuencias que producen en la población. En este trabajo se realiza una categorización de este tipo de eventos ocurridos en el centro del país, siguiendo el trabajo de Parker y Johnson (2000), utilizando información disponible de los radares Argentinos en el período Enero-2009 – Junio-2013, determinando diferencias en las estructuras de organización del área convectiva y estratiforme. En el período considerado se encuentran 49 eventos, siendo TS (Trailing Stratiform) el modo de organización más común, representando un 55% del total de los eventos, y PS (Parallel Stratiform) con un 43%. Además, se realiza una climatología simple encontrando que son más frecuentes entre los meses de Noviembre a Marzo, y que el lugar preferencial donde empiezan a generarse es al oeste del área de estudio, sobre La Pampa, Córdoba y noroeste de Buenos Aires, teniendo luego una trayectoria noreste. Por otro lado, también se busca determinar valores de parámetros de inestabilidad, a partir de información de CFSR, que permitan facilitar el pronóstico de este tipo de eventos. Como resultado importante se encuentran valores de CAPE superiores a 500 J/kg y valores de cortante bajas, entre 0 y 3 km, mayores a la cortante alta (entre 0 y 6 km), lo cual es coherente con los resultados obtenidos por Weissman y Rotunno (2004).

ABSTRACT

The study of highly precipitating events is very important because of the impact they have on the population. This paper a categorization of such events in the central region of Argentina is performed, following the study of Parker and Johnson (2000), using information available from radars in Argentina in the period January-2009 – June-2013, and determining differences in the organizational structures of convective and stratiform area. In the period under consideration 49 events are found, being TS (Trailing Stratiform) the most common mode of organization, representing 55% of the events, and PS (Parallel Stratiform) with 43%. Also, a simple climatology has been carried out finding that are more frequent between the months of November to March, and that the place where they begin to be generated is west of the study area, at La Pampa, Cordoba and the Northwest of Buenos Aires, taking then a north-easterly trajectory. On the other hand, this analysis will also seek to determine instability parameter values, using data from CFSR, to ease forecasting such events. As an important results are found CAPE values greater than 500 J/kg and low shear values, between 0 and 3 km, are greater than high shear (between 0 and 6 km), which is consistent with the results obtained by Weissman and Rotunno (2004).

Palabras clave: sistemas altamente precipitantes, radar, clasificación, parámetros de inestabilidad.

1) INTRODUCCIÓN

El estudio de eventos altamente precipitantes (también conocidos como Highly Precipitating o, HP, por la sigla en inglés) es muy importante debido a que son los responsables de una gran variedad de impactos en la sociedad. Principalmente, resultan causantes de graves inundaciones que generan importantes daños en las propiedades de las personas, heridos o muertes. Además también provocan un impacto hidrológico y agrícola que afecta en gran medida tanto a la población como a la economía de los países, generando en la mayoría de los casos enormes pérdidas económicas.

En particular para Sudamérica son poco los trabajos previos que estudien los eventos altamente precipitantes. Uno de los trabajos que enfrenta este desafío es el de Torres (2003) que realiza una climatología de sistemas convectivos de mesoescala (MCSs) altamente precipitantes sobre el centro y norte de Argentina. Para poder definir cuáles de los sistemas son altamente precipitantes considera solo los eventos que están asociados con acumulados de precipitación superiores a 120 mm en 24 horas en una estación de superficie.

El uso de la información provista por los radares meteorológicos ubicados en superficie permite analizar la estructura interna de los sistemas convectivos, como por ejemplo identificar la región de precipitación convectiva y estratiforme y analizar sus características y particularidades en sistemas altamente precipitantes. Houze y otros (1990), utilizando esta información, además de estaciones meteorológicas de superficie, analizan la ocurrencia de eventos altamente precipitantes en la región de Oklahoma. Los autores encuentran que la mayor parte de los casos analizados exhiben una estructura espacial en forma de línea, con la región convectiva por delante y la estratiforme por detrás. Siguiendo esta misma línea de trabajo, Parker y Johnson (2000, en adelante PJ2000) estudian, en la región central de Estados Unidos, la ocurrencia de eventos en forma de línea, detectando otros dos tipos de organización, además del hallado por Houze: Trailing Stratiform (TS), es decir con la parte estratiforme por detrás del sistema, Leading Stratiform (LS), con la parte estratiforme por delante y Parallel Stratiform (PS), donde la parte convectiva y estratiforme se encuentran paralelas entre sí. En este trabajo se concluye que los sistemas con organización TS son los más comunes, mientras que los casos LS y PS representan el 40% de los eventos estudiados. Otra conclusión importante es que la organización de la parte estratiforme está fuertemente influenciada por los vientos relativos a la tormenta en niveles medios y altos de la troposfera.

En el trabajo de Schumacher y Johnson (2005), los autores también analizan eventos de precipitación extrema en Estados Unidos, encontrando que, además de los modos de organización encontrados por PJ2000, existen modos no lineales que generan importantes precipitaciones. Estos dos modos consisten en un sistema convectivo con la parte convectiva y estratiforme que se desplazan en forma paralela (o TL/AS por las siglas en inglés), mientras que el otro consiste en celdas convectivas que se generan repetidamente corriente arriba de un frente cuasiestacionario provocando que todas las celdas se desarrollen sobre un área particular.

El objetivo principal de este trabajo radica en identificar sistemas altamente precipitantes a partir de datos de radar, y posteriormente indagar en parámetros que contribuyan al pronóstico de estos sistemas usando información de reanálisis.

En la sección 2 se encuentra una descripción de los datos que se utilizan en el siguiente trabajo y la forma en la que se lleva a cabo la detección y clasificación de los sistemas HP. En la sección 3 se encuentran una descripción de los sistemas encontrados. En la sección 4 se describen las principales características de los sistemas encontrados, mientras que un análisis de los parámetros de inestabilidad se encuentra en la sección 5. Por último, en la sección 6 se encuentran las conclusiones.

2) DATOS Y METODOLOGIA.

Para llevar a cabo el presente trabajo se cuenta con una base de datos de los radares argentinos ubicados en Angüil (La Pampa), Paraná (Entre Ríos), Pergamino (Buenos Aires), los cuales pertenecen al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y el radar ubicado en Ezeiza (Buenos Aires) perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN). La ubicación y rango de alcance se muestran en la figura 1. La variable utilizada en el presente trabajo es la reflectividad horizontal siendo el período disponible para cada uno de ellos se puede encontrar en la tabla I.

Para poder desarrollar la climatología y detectar los eventos HP, se sigue la metodología propuesta por PJ2000, quienes detectan los casos que cumplan con las siguientes características, observando las imágenes de radar:

- Una extensión horizontal de la línea mayor a 100km, considerando un umbral de 20 dBZ.
- Ecoss con valores de reflectividad superior a los 40 dBZ.
- Una duración superior a 3 horas.
- Los eventos se clasifican en TS (Trailing Stratiform), LS (Leading Stratiform) y PS (Parallel Stratiform). El tipo de organización se determina observando, en las imágenes de radar, tanto PPI como las composiciones de todos los radares, en cada tiempo disponible.

Para la detección de los eventos se utilizaron imágenes de radar previamente calibradas siguiendo la metodología utilizada en Pappalardo y otros (2015). Se determinan cuáles de todos los eventos convectivos hallados observando las imágenes de radar durante el período 2009-2013 son altamente precipitantes. Para esto último se considera la climatología realizada por Penalba y Robledo (2010), en la cual los autores encuentran umbrales de precipitación diaria que limitan el percentil 75% y 95% para cada mes con una base de datos de 50 años. En este trabajo se considera que el evento es HP, siempre que en al menos una estación dentro de la región de alcance del radar registrara un valor de precipitación que supere el umbral de 75%, pero no el de 95% (de ahora en más se referirá simplemente como umbral 75%) y casos que superen el umbral correspondiente al percentil 95%. Con esto se obtienen 27 casos que cumplen con el umbral de 95% y 12 con el umbral de 75%, y 10 casos en los que, si bien se detecta una línea que cumple con todas las características que plantean PJ2000, no se encuentran estaciones meteorológicas que registren precipitaciones que superaran los umbrales establecidos.

Siguiendo el trabajo de Thompson y otros (2003) se analizan distintos parámetros para diversos puntos, que caracterizan el entorno del sistema en las tres etapas del ciclo de vida previamente definidas. En este trabajo se estiman índices de inestabilidad y parámetros para cada etapa del ciclo de vida a partir

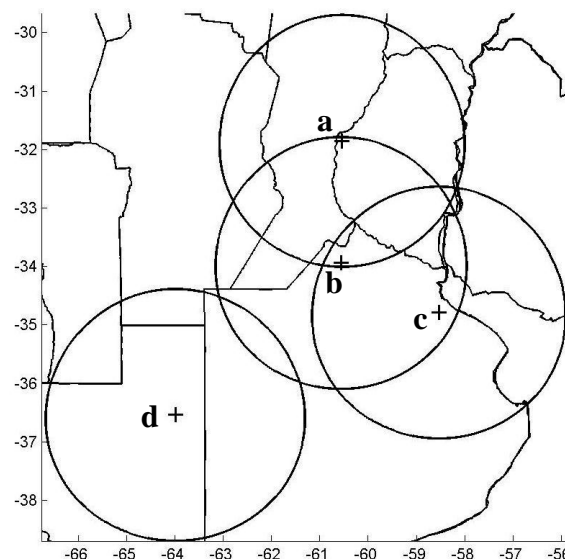


Figura 1: Ubicación de los radares argentinos y su área de cobertura para un radio de 240 km, a) Paraná, b) Pergamino, c) Ezeiza y d) Angüil.

Radar	Fecha Inicio	Fecha Final
Ezeiza	2009-01-01	2013-06-02
Pergamino	2009-03-31	2013-06-02
Paraná	2009-04-18	2013-06-02
Angüil	2010-02-01	2013-06-02

Tabla I: Fechas iniciales y finales de la disponibilidad de datos de cada radar.

de información de CFSR (Climate Forecast System Reanalyses; Saha y otros, 2010).

3) DETECCIÓN DE SISTEMAS ALTAMENTE PRECIPITANTES

Para la etapa de detección de los sistemas HP se utilizan imágenes compuestas, o mosaicos, obtenidas a partir de la información calibrada de los radares con la que se cuenta. Al momento del cálculo de los mismos se presentaron diversos problemas, siendo el principal decidir qué hacer en los lugares donde los radares se superponen, y las diferentes alturas de la información. Es por esto que para realizar los mosaicos se utilizaron los CAPPIS obtenidos anteriormente. Sin embargo, como cada uno de estos tiene una retícula asociada que no coincide entre sí en los lugares donde hay superposición, se generó una retícula nueva que incluyera a los cuatro radares y se realizó una interpolación lineal de los CAPPIS de cada radar a la nueva retícula. Cabe destacar que la importancia en la utilización de los mosaicos radica en la gran utilidad para poder determinar los tiempos en los que se dan las distintas etapas del sistema (inicio, madurez y disipación) y poder hacer un mejor seguimiento de los sistemas, debido a que cubren una mayor área. Sin embargo, también se utilizan imágenes PPI debido a que, al tener una mayor resolución espacial que el CAPPI puede observarse mejor la región convectiva.

Teniendo en cuenta todos estos factores se encuentran un total de 49 eventos que cumplen con los requisitos propuestos por PJ2000. Luego, como se explicó en la sección 2, se buscan estaciones meteorológicas que fueron afectadas por el sistema y que reportaran valores de precipitación que superen el valor estadístico correspondiente al umbral de los percentiles 95 y 75 (tabla II). Es importante remarcar que debido a la escasez de información de precipitación en superficie, es posible que alguno de estos sistemas hayan sido HP, pero no se pudo registrar la precipitación asociada a ese sistema, por lo que los 10 eventos que no cumplieron con el umbral de precipitación del 75% serán también analizados ya que presentan en todos los casos umbrales de reflectividad superior a 40 dBZ, que es lo propuesto por PJ2000.

4) CLIMATOLOGIA DE LOS EVENTOS ALTAMENTE PRECIPITANTES

Luego de detectar los sistemas y clasificarlos según su organización, se lleva a cabo una climatología que permite analizar varias características generales sobre ellos. Este análisis resulta importante para conformar una base de datos de eventos HP en Argentina tendiente a avanzar en el conocimiento actual que se tiene sobre este tipo particular de sistemas precipitantes.

	<%75	75%	95%
PS	6	5	10
TS	4	6	17
LS	0	1	0

Tabla II: Cantidad de eventos encontrados para cada modo de organización, diferenciándolos según el umbral de precipitación que cumplen.

	<%75	75%	95%
Enero	2	1	8
Febrero	1	1	3
Marzo	2	3	3
Abril	2	3	1
Mayo	0	0	3
Junio	0	0	0
Julio	0	0	1
Agosto	0	0	0
Septiembre	0	1	0
Octubre	1	0	2
Noviembre	1	0	1
Diciembre	1	3	5

Tabla III: Cantidad de eventos encontrados diferenciados por mes de ocurrencia y umbral de precipitación que cumplen.

En primer lugar se realiza un análisis de la frecuencia de ocurrencia de eventos por mes, separando los casos según el umbral de precipitación que cumplieron. Estos resultados se muestran en la tabla III. Observándose, en general, que la mayor frecuencia de eventos ocurre entre finales de la primavera y comienzo del otoño. Estos resultados muestran una gran coherencia con otros estudios climatológicos sobre los MCSs en Argentina en los que se concluye que los mismos son más frecuentes entre fines de la primavera y principios del otoño, como por ejemplo Salio y otros (2007), Vidal (2009, 2014), Vila (2004), Velasco y Fritsch (1987) entre muchos otros y en el caso de eventos altamente precipitantes Torres (2003).

Otra característica importante para analizar es el tipo de organización. La mayoría de los casos encontrados se corresponden con los casos que superan el percentil 95 en la precipitación, llegando al 55% del total de los eventos, donde 35% de los mismos corresponden al modo TS y 20% al modo PS. Los eventos que alcanzan el percentil 75 en la precipitación cubren el 25% del total de los casos, donde 10% se corresponden al modo PS, 12% al modo TS y 2% al modo LS. Por último, los casos que no cumplen ningún umbral son solo el 20% de los eventos hallados, donde 12% tienen organización PS y 8% TS. Esto muestra que el modo de organización dominante es TS y PS, mientras LS resulta ser el menos común, lo cual es un resultado análogo a lo encontrado por PJ2000.

Siguiendo la idea de encontrar características comunes de los sistemas HP, se busca determinar si existen horas típicas en las que ocurra cada etapa del sistema. Por lo discutido anteriormente, resulta difícil realizar este análisis observando solo las imágenes de radar debido a que, por la escasa cobertura que brindan es probable que la etapa de inicio o disipación no se den dentro de dicha área de cobertura. Por lo que se decide realizar este análisis también observando las imágenes de satélite a pesar de las limitaciones previamente mencionadas. Estos resultados preliminares se presentan en la figura 2. La misma muestra las frecuencias de ocurrencia de los sistemas HP para cada etapa del ciclo de vida definido a partir de las imágenes de satélite IR (figura 2a) y de las imágenes de radar (figura 2b), y diferenciándolos según el umbral de precipitación que cumplen en 95%, 75% (pero no el de 95%) y <75% para los que no cumplen ningún umbral.

Utilizando las imágenes de satélite (figura 2a) se observa en la etapa inicial una mayor frecuencia en la franja horaria entre 15-21 UTC, para todos los sistemas considerados, y la etapa de madurez se da en dos franjas horarias distintas, entre las 03-09 UTC para los casos que superan el umbral del 95% y para los casos que no cumplen ningún umbral, y entre las 21-03 UTC, para los casos que cumplen el 75%.

Para el estado final del sistema, si bien se observan franjas horarias con mayor ocurrencia, no se

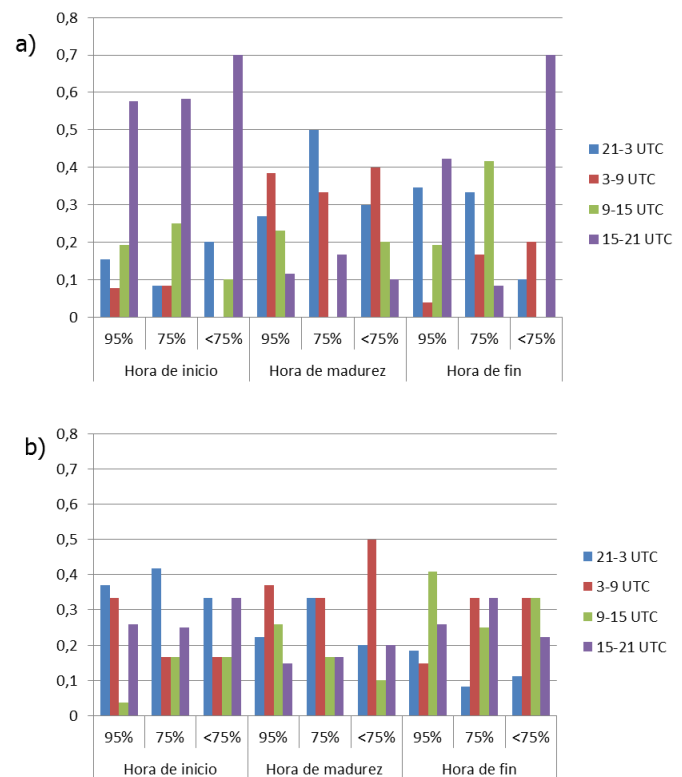


Figura 2: Gráficos de densidad de ocurrencia de eventos por franjas horarias para cada etapa del ciclo de vida de los sistemas, para los casos que cumplen el umbral de precipitación del 95%, 75% y para los que no cumplen ningún umbral determinado utilizando a) imágenes de satélite y b) imágenes de radar.

observa un comportamiento claro, lo que está relacionado con la duración de los sistemas, ya que se encontraron sistemas que duran 5 horas mientras otros llegan a durar más de 10 horas.

Sin embargo, al analizar las horas de ocurrencia de las diferentes etapas de los sistemas definidas a partir de las imágenes de radar (figura 2b), no se observan comportamientos tan definidos como en el caso de las etapas obtenidas con las imágenes de satélite. En los casos que se supera el umbral del 95% en la precipitación las horas de inicio se dan, principalmente, entre las 21-03 UTC y las 03-09 UTC, aunque también se observa otro máximo en la franja horaria entre las 15-21 UTC. Mientras que para los eventos restantes (tanto para los que cumplen con el umbral de 75% como para los que no cumplen ningún umbral) el inicio se da en las franjas 21-3 UTC y 15-21 UTC. La madurez se alcanza, en todos los casos entre las 03-09 UTC observándose máximos relativos en las franjas horarias de 21-03 UTC y 09-15 UTC. Por último, para la etapa final de los sistemas se observan máximos entre las 09-15 UTC, pero no se observa un comportamiento más marcado como en las otras etapas, pero como se planteó para las imágenes de satélite, esto está influenciado por el área de cobertura de los sistemas.

A pesar de las diferencias encontradas, puede notarse que las horas de inicio se dan entre la tarde y noche, mientras que la madurez se alcanza entre 3 y 6 horas después del inicio. La finalización del sistema dependerá de cada caso y no se puede alcanzar una conclusión estricta.

Otras características de este tipo de sistemas que resulta interesante analizar son la trayectoria y la velocidad de desplazamiento que poseen. En la figura 3 se muestran los puntos elegidos representativos de cada etapa del ciclo de vida. Hay que recordar en este punto que, debido al limitante de la cobertura espacial con los radares, hay casos particulares en los que la etapa inicial o final puede darse fuera del área de cobertura. Se puede observar que el lugar preferencial donde empiezan a generarse estos eventos es al oeste del área de estudio, sobre La Pampa, Córdoba y noroeste de Buenos Aires, mientras que la disipación de los mismos se da al este, sobre Entre Ríos y noreste de Buenos Aires. Esto implica que la mayoría de los sistemas tienen una trayectoria hacia el noreste.

Al analizar la velocidad de desplazamiento de los sistemas, no se observan diferencias entre los dos modos de organización predominantes, TS y PS, siendo la velocidad de los sistemas de 30,4 km/h obtenida a partir de calcular la pendiente de la recta de regresión.

5) ANALISIS DE PARAMETROS DE INESTABILIDAD

Para realizar el análisis se eligieron los siguientes parámetros de inestabilidad: BRN, CAPE entre 0 y 180mb, cortante alta (entre 0 y 6 km) y baja (entre 0 y 3 km), índice Lifted, índice K, índice Total-Totals, agua precipitable en los primeros 30 hPa. Los mismos se obtienen a partir de la información de

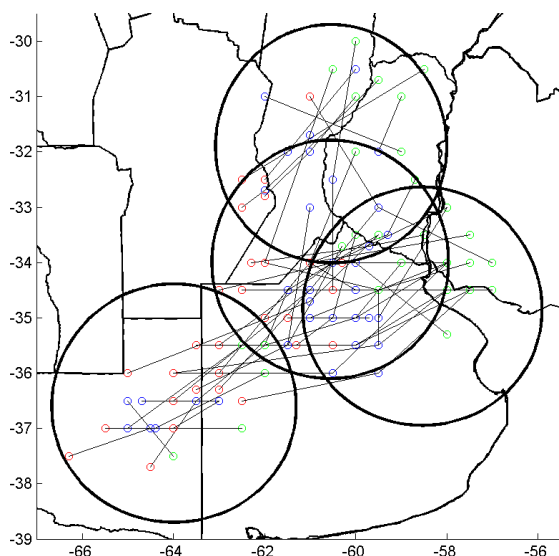


Figura 3: Mapa donde se muestra los puntos que se eligieron para calcular los parámetros de inestabilidad en cada una de las etapas del ciclo de vida: etapa inicial (rojo), etapa madura (azul) y etapa final (verde). Las líneas representan las trayectorias de los sistemas. Los círculos negros muestran el área de cobertura de los radares utilizados para un radio de 240 km.

CFSR.

Para calcularlos se elige un lugar, para cada evento y etapa del sistema, que resulte representativo y se calcula, el valor de los distintos índices y los sondeos en ese punto para las tres etapas: inicio, madurez y disipación. Los valores hallados para los distintos parámetros para cada etapa y tipo de evento se muestran en la tabla IV.

En términos generales, se observa que los índices alcanzan el máximo valor en el estado inicial y maduro, mientras que en la etapa final los índices en general alcanzan valores que cumplen con los valores típicos estables. Por otro lado, también se observan diferencias entre los valores hallados para los eventos que cumplieran con los umbrales de precipitación de 75% y 95%.

Al analizar los valores medios de BRN se observa, para los casos que superaron el umbral del 95% de la precipitación, un aumento del mismo entre la etapa inicial y madura, mientras que para el caso de los eventos que cumplieron con el umbral del 75% se observa lo contrario. Por otro lado, al observar los valores medios hallados no se encuentran umbrales claros, es decir, para la etapa inicial el BRN alcanza un valor medio de 118 para los casos que cumplen con el umbral del 75% y 23 para los que cumplen con el percentil 95. Por otro lado, para la etapa madura se obtienen valores de 21 y 89 respectivamente. Recordando que los valores cercanos a 50 indican la posibilidad de superceldas y valores en torno a 100 indican sistemas multicelulares, se puede observar que, en general, los valores indican la ocurrencia de superceldas. Considerando que todos los casos analizados se corresponden con sistemas lineales multicelulares, en los que pueden desarrollarse eventualmente superceldas, se puede decir que el modelo representa bien el entorno sinóptico. Otra característica importante de este parámetro es la gran dispersión de los valores hallados, por ejemplo, en el caso de la etapa madura se obtuvieron valores mínimos cercanos a 0 y máximos cercanos a 1600.

95%	INICIO			MADURO			FINAL		
	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA
Cape 180mb	0	2349	700,94	0	2533	674,12	0	1146	180,37
BRN	0	85,42	23,01	0,14	354,64	89,58	0	71,07	13,89
Low Shear	5,95	33,24	18,27	12,26	33,33	20,02	10,88	38,64	25,77
High Shear	3,02	23,26	11,35	1,77	19,18	12,34	0,71	30,31	14,07
Agua Precip.	1,91	6,3	3,49	1,49	6,29	3,37	1,42	4,81	2,84
Indice Lifted	-4,7	2,4	-1,89	-7,9	7,1	-1,32	-3,4	13,2	1,15
Indice K	10	40	31,94	32	40	35,5	-20	40	27,25
Total Totals	44	55	48,19	43	56	47,5	18	49	42,63

75%	INICIO			MADURO			FINAL		
	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA
Cape 180mb	11	1222	580,2	0	2697	784,6	0	1405	569,2
BRN	0	1617	118,06	0	78,11	21,12	0	7,07	2,75
Low Shear	12,53	19,63	16,15	7,84	26,78	17,55	14,4	22,87	18,79
High Shear	1,27	13,88	8,42	8,31	15,88	10,7	4,81	10,36	7,08
Agua Precip.	2,56	3,9	3,31	1,96	5,14	3,45	2,41	4,61	3,2
Indice Lifted	-3,4	0,7	-1,7	-8,6	4,6	-1,86	-4,9	3,6	-0,7
Indice K	27	39	34,2	23	42	32	31	39	35
Total Totals	47	53	49,2	39	53	47,4	40	51	45,6

Tabla IV: Valores mínimos, máximos y medios e los parámetros de inestabilidad considerados obtenidos a partir de los reanálisis CFSR para los eventos que cumplieron con el umbral del percentil 95 (95%) en la precipitación, los que cumplieron con el percentil 75, pero no con el 95 (75%) y los que no cumplieron ningún umbral (<75%).

La cortante en capas bajas (entre 0 y 3 km) es un parámetro de gran importancia, ya que el balance entre la cortante y el CAPE es lo que permite que la línea se mantenga a lo largo del tiempo (Weissman y Rotunno (2004) y trabajos previos). Al analizar los valores que adquieren en los tres estados se observa, en primer lugar, que los valores tienden a aumentar hacia el final del ciclo de vida de los eventos, si bien la variación no es importante. En general los valores oscilan entre 17 y 25 m/s, lo cual se corresponde con valores sugeridos por Weissman y Rotunno (2004). Por otro lado, para la cortante

alta (entre 0 y 6 km), se observan los máximos valores en la etapa madura, aunque, al igual que para el caso de la cortante baja, no se observa una variación importante de los valores medios, oscilando entre 10 y 15 m/s. Que los valores de la cortante entre 0 y 3 km sean mayores que los encontrados para la cortante entre 0 y 6 km puede ser lo que determine el tipo de organización, ya que, comparando con el trabajo de Thompson y otros (2003), que estudia el entorno asociado al desarrollo de superceldas, el autor encuentra un comportamiento opuesto, con valores típicos para la cortante alta mayores que la cortante baja.

Por último, se estudian tres parámetros de inestabilidad: el índice K, el índice Total-Totals y el índice Lifted más inestable. Para los tres se encuentra que tanto en el estado inicial como en el maduro, los valores medios superan los umbrales teóricos que indican inestabilidad, mientras que para el estado final los valores medios hallados se corresponden con umbrales que indican estabilidad. En el caso del índice K los valores medios son de 28 y 35, para la etapa inicial y madura, para el índice Total-Totals los valores medios son de 46 y 49 para las mismas etapas y, por último, para el índice Lifted se encuentran valores medios de -1 y -2. Al observar estos parámetros se encuentran diferencias entre los distintos tipos de intensidad de los eventos, pero no tan significativas como en los parámetros anteriores, por lo que no resultan muy útiles para detectar eventos altamente precipitantes.

En el trabajo de PJ2000 estudian varios de estos parámetros obtenidos a partir de sondeos. Para el caso del CAPE obtienen valores medios cercanos a 1000 J/Kg, mientras que para el índice Lifted alcanza valores entre -2 y -5. Estos valores resultan superiores a los hallados a partir del modelo CFSR, lo cual puede estar relacionado con la poca capacidad del modelo en representar la inestabilidad presente.

Siguiendo el trabajo de Thompson y otros (2003) se intenta analizar posibles relaciones entre los distintos parámetros antes mencionados para cada etapa del ciclo de vida de los sistemas. En la figura 4 se muestran los diagramas de dispersión entre (a) CAPE 0-180mb y cortante baja, y (b) CAPE 0-180mb y cortante alta. En ambas figuras se observa que la mayoría de los casos presentan valores de CAPE entre 500 y 1000 J/kg, mientras que la cortante baja es siempre mayor a 10 m/s y la cortante alta no supera en ningún caso los 20 m/s. Brooks y otros (2003) estudian el entorno sinóptico, utilizando sondeos calculados a partir de información de reanálisis, para tormentas severas, obtienen que la mayoría de los casos alcanzan valores de CAPE cercanos a 1000 J/Kg, mientras que la cortante entre 0 y 6 km posee valores alrededor de 30 m/s. Teniendo en cuenta que en este

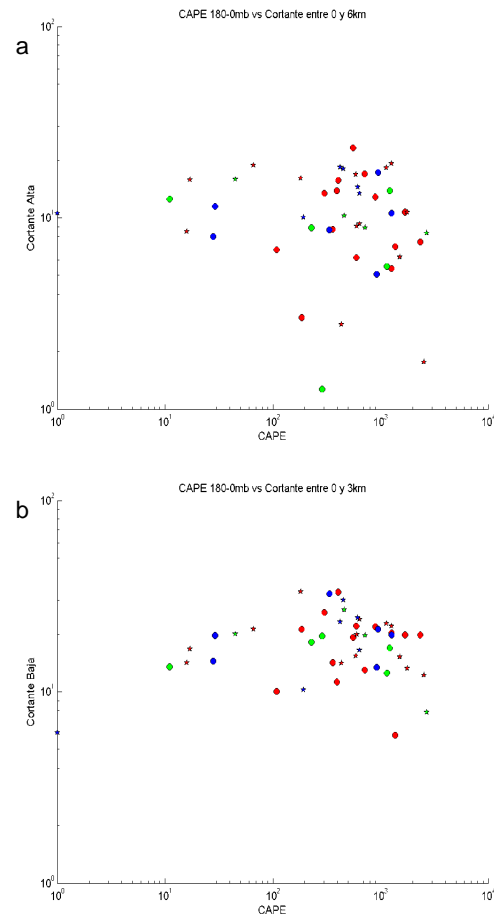


Figura 4: Gráfico de dispersión entre CAPE_{180mb} y a) cortante alta (0-6km), b) cortante baja (0-3km). Los círculos indican la etapa inicial mientras que las estrellas la etapa madura. El color rojo es para los casos que superan el 95%, los verdes el 75% y los azules los que no cumplieron con ningún umbral.

Si bien la mejor forma de analizar los parámetros de inestabilidad es a partir de información observada, como PJ200, que estudian sondeos realizados. Sin embargo, debido a la escasez de sondeos en Argentina, solo se puede realizar este tipo de análisis a partir de información de modelos. Una posible forma de mejorar estos resultados sería utilizando modelos de mayor resolución que incluyan asimilación de datos de radar y superficie.

6) CONCLUSIONES

En el presente trabajo se identificaron 49 eventos convectivos en el período Enero-2009 – Junio-2013, 27 correspondientes al tipo de organización TS, 21 PS y solo un caso con organización LS. Luego, para poder discretizar los que resultaron altamente precipitantes se buscaron estaciones meteorológicas por las que haya pasado el sistema y que reportaran valores de precipitación que superen el valor estadístico correspondiente al umbral de los percentiles 95 y 75 (Robledo y Penalba, 2009), encontrándose así 27 eventos que cumplían el primer umbral, 12 cumplían con el umbral de 75% (pero no con el de 95%) y 10 que no cumplían con ningún umbral. Sin embargo, la escasez de observaciones género que algunos casos no cumpliera con los umbrales de precipitación propuestos, a pesar de cumplir con los valores de reflectividad propuestos.

Con el objetivo de determinar características generales de los sistemas, se estudió los meses de ocurrencia y las horas en las que se dio cada etapa, encontrándose la mayor ocurrencia de eventos se dan entre diciembre y abril para todos los tipos de eventos. En relación con la hora del día en la que se dan las distintas etapas del ciclo de vida del sistema, si bien se observan algunas diferencias entre las franjas horarias basadas en radar con las definidas a partir de imágenes de satélite, se puede ver que la etapa de inicio ocurre en horas de la tarde o noche y la etapa de madurez se manifiesta en horas de la madrugada o primeras horas de la mañana. La etapa final varía mucho debido a que depende de la duración del sistema.

En relación a la región de inicio de los sistemas, se puede observar que el lugar preferencial se localiza sobre La Pampa, Córdoba y noroeste de Buenos Aires, mientras que la disipación de los mismos ocurre al este, sobre Entre Ríos y noreste de Buenos Aires, lo que implica que la trayectoria de los sistemas tiende a ser hacia el noreste. Otra característica que se encontró, es que los sistemas tienden a tener una velocidad media de 30,4 km/h.

Por último se estudiaron distintos parámetros de inestabilidad para cada etapa del ciclo de vida de los sistemas, obteniéndose, principalmente, que los valores más inestables se dan en la etapa inicial y madura. Además, en el caso particular de la cortante se encontró que el valor de la cortante entre 0 y 3 km de altura es mayor que la cortante entre 0 y 6 km. Otro resultado importante surge de comparar los valores de CAPE en los primeros 180 hPa y cortante alta y baja, encontrando si bien la mayoría de los casos poseen valores de CAPE entre 500 y 1000 J/kg, la cortante entre 0 y 3 km es siempre mayor a 10 m/s y la cortante alta no supera en ningún caso los 20 m/s.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que para poder detectar mejor este tipo de sistemas y mejorar el pronóstico de los mismos es necesario utilizar modelos de alta resolución que puedan asimilar información de radar, además de mejorar la red de observación de superficie y altura. Los datos de reanálisis como los utilizados en el presente trabajo con baja resolución espacial y temporal muestran grandes variaciones en las variables que ayudan a identificar áreas de inicio y comportamiento de los sistemas altamente precipitantes lo que hace necesario seguir avanzando en mejores productos para las oficinas operativas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado una beca de estudiante para la primer autora y los proyectos PICT 2013 1299, UBACyT 2014-2017 20020130100618BA.

REFERENCIAS

Houze R. A., Jr. B. F. Smull y P. Dodge, 1990: Mesoscale organization of springtime rainstorms in Oklahoma. *Mon. Wea. Rev.*, 118, 613-654.

Penalba, O. C., y Robledo, F. A., 2010: Spatial and temporal variability of the frequency of extreme daily rainfall regime in the La Plata Basin during the 20th century. *Climatic Change*, 98, 531-550.

Pappalardo, L., P. Salio y L. Vidal, 2015: Evaluación de la información histórica de radares meteorológicos en Argentina. XII Congreso Argentino de Meteorología, 26-29 mayo, Mar del Plata, Argentina.

Parker M. D. y Richard H. Johnson, 2000: Structures and Dynamics of Quasi-2D Mesoscale Convective Systems. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 3413-3436.

Saha S. y coautores, 2010: The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1015–1057.

Salio P., M. Nicolini y E. J. Zipser, 2007: Mesoscale Convective Systems over Southeastern South America and its relationship with the South American Low Level Jet. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 1290-1309.

Schumacher R., y R. H. Johnson, 2005: Organization and Environmental Properties of Extreme-Rain-Producing Mesoscale Convective System. *Mon. Wea. Rev.*, 133, 961-976.

Thompson R. L., R. Edwards, J. A. Hart, K. L. Elmore y P. Markowski, 2003: Close Proximity Soundings within Supercell Environments Obtained from the Rapid Update Cycle. *Wea. Forecasting*, 18, 1243-1261.

Torres, J. C., 2003: Sistemas Convectivos en mesoescala altamente precipitantes en el norte y centro de Argentina. Tesis Doctoral. FCEyN. UBA. 132 paginas.

Velasco, I. y J. M. Fritsch, 1987: Mesoscale convective complexes in the Americas. *J. Geophys. Res.*, 92, 9591-9613.

Vidal, L., 2009: Caracterización de los sistemas convectivos sobre el sudeste de Sudamérica a partir de observaciones TRMM con énfasis en la convección extrema. Tesis de Licenciatura. FCEyN. UBA. 143 páginas.

Vidal, L., 2014: Convección extrema sobre Sudamérica: estructura interna, ciclos de vida e influencia de la topografía en la iniciación. Tesis de Doctorado. FCEyN. UBA. 274 páginas.

Weisman, M. L. y R. Rotunno, 2004: A Theory for Strong Long-Lived Squall Lines: Revisited. *J. Atmos. Sci.*, 61, 361–382.