

CARACTERÍSTICAS DE LA DEPRESIÓN DEL NOROESTE ARGENTINO EN EL PERÍODO 1997-2003: CRITERIOS DE SELECCIÓN Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Lorena Ferreira¹, Celeste Saulo^{2,3}, Marcelo Seluchi⁴

¹Servicio Meteorológico Nacional. Argentina.

²Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. FCEN.UBA.

³Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera. CONICET-UBA.

⁴Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/INPE. Cachoeira Paulista. Sao Paulo. Brazil

(Manuscrito recibido el 9 de abril de 2010, en su versión final el 27 de octubre de 2010)

RESUMEN

En este trabajo se proponen y analizan diversas metodologías para detectar eventos de Depresión del Noroeste Argentino (DNOA) con el objeto de poder documentar su posición, intensidad y duración media a lo largo del año, durante un período que va de marzo de 1997 a febrero de 2003. A través de una selección cuidadosa de eventos, se documentan diversos aspectos estadísticos de la DNOA, en base a un período sustantivamente mayor que cualquier otro antecedente al respecto, al tiempo que se comparan estos resultados con los obtenidos en trabajos pre-existentes. Los resultados muestran que durante el período de estudio se identifican similar cantidad de eventos de baja presión durante todas las estaciones del año, mostrando que la DNOA es un patrón dominante que caracteriza el clima de la región sur de Sudamérica. Asimismo, la cantidad de días bajo régimen DNOA es menor en invierno y en otoño, como así también la duración media de los eventos. Finalmente se encuentra que la posición media del mínimo de presión de la DNOA se ubica más al norte que la documentada por otros autores, y presenta una mayor variabilidad espacial en las estaciones cálidas que en las frías.

Palabras clave: Variabilidad Climática estacional, Depresión del Noroeste Argentino, análisis estadístico

FEATURES OF THE NORTHWESTERN ARGENTINEAN LOW DURING THE 1997-2003 PERIOD: SELECTION CRITERIA AND STATISTICAL ANALYSIS

ABSTRACT

In this paper we propose and analyze several methodologies to detect Northwestern Argentinean Low (NAL) events, in order to document its mean position, intensity, duration and their variability. The period of analysis encompasses from March 1997 to February 2003. Through a careful selection of events, various statistical aspects of the NAL are documented. This characterization is based on a period substantially longer than any other precedent in this regard, and results obtained are compared with previous ones.

Our results show similar amount of low pressure events for all seasons, showing that the NAL events constitute a dominant pattern that characterizes the climate of southern South America. Also, the number of days under NAL regime is lower during winter and autumn, as well as the mean duration of the events. Finally, we found that the mean position of the NAL center turns out to be northward than documented by other authors, exhibiting larger spatial variability during the warm season than during cold one.

Keywords: Seasonal Climatic Variability, Northwestern Argentinean Low, statistical analysis

1. INTRODUCCIÓN

La Depresión del Noroeste Argentino (DNOA) es un sistema de baja presión que ha recobrado importancia a partir del reconocimiento de su rol, junto con la Baja de Chaco y la corriente en chorro de capas bajas, en los intercambios de masas de aire entre los trópicos y los extratropicos, modulando el transporte de calor y humedad a la porción sur de Sudamérica (Seluchi y Marengo 2000; Saulo y otros 2004, Vera y otros 2006). La alta correlación entre las variaciones inter diurnas de la temperatura y la presión sobre el área de influencia de la DNOA, llevó a Schwerdtfeger, en sus trabajos publicados en los años 1950 y 1954, a identificar a la DNOA como una “depresión térmica”. Posteriormente, Lichtenstein (1980) (de ahora en más L80) apoyado en los mapas climatológicos correspondientes al año 1967 y en el estudio de un caso durante ese mismo año, avanza en la caracterización de la DNOA y denomina al sistema simplemente como “depresión”. Ello se debe a que encuentra otros factores además del balance positivo de radiación en superficie que contribuyen en la formación e intensificación del sistema. En su trabajo, L80 localiza el centro del sistema de baja presión alrededor de los 30°S, 66°O, próximo a la estación La Rioja del Servicio Meteorológico Nacional. Sin embargo, este autor manifiesta que en ocasiones la DNOA puede ser también localizada en latitudes cercanas a los 40°S, exhibiendo una mayor variabilidad espacial meridional que zonal. Con respecto a la variabilidad temporal, L80 encuentra que la DNOA puede actuar durante todo el año con una intensidad variable y un comportamiento intermitente. El trabajo de L80 constituye el antecedente más importante para cualquier estudio sobre la DNOA, ya que no sólo documenta los campos medios de todo el año 1967, sino que

introduce una forma de cuantificar la intensidad del mínimo de presión asociado. El trabajo, por otro lado, propone y ofrece algunas evidencias sobre los procesos que conducen a la formación, profundización y disipación de este sistema en base al análisis observacional de algunos casos.

Desde aquellos trabajos pioneros, no se han realizado caracterizaciones estadísticas de la DNOA, a pesar de la disponibilidad de campos analizados en puntos de retícula que ofrecen un complemento ideal para revisar tales caracterizaciones. El principal objetivo de este trabajo es, consecuentemente, mostrar distintos criterios para detectar eventos DNOA, empleando datos observacionales y análisis en puntos de retícula para un período de 6 años. A partir de ellos se pretende efectuar un estudio estadístico de la ocurrencia de los eventos de DNOA en las distintas estaciones del año. Con la adopción del criterio que aquí se propone, se busca documentar la duración, intensidad y posición media del sistema, así como también la variabilidad de esos indicadores a lo largo del año. Esto permite realizar algunas inferencias acerca de los mecanismos que intervienen en la existencia de la DNOA. Así, se avanza sobre los estudios estadísticos efectuados por L80 empleando una serie de datos más extensa, que se considera más representativa del comportamiento de la DNOA. El análisis de los procesos que explican el ciclo de vida de la DNOA, posible a partir de una selección más ajustada de los casos DNOA que aquí se documenta, es parte de un trabajo en elaboración.

Este trabajo se estructura de la siguiente manera: en la sección 2 se describen las bases de datos empleadas; la sección 3 presenta el análisis del índice de Lichtenstein en tanto que en la Sección 4 se propone y se discuten otros criterios de selección de eventos DNOA, y se muestra el análisis de la ocurrencia estacional y espacial de los eventos.

Finalmente en la sección 5 se presentan las conclusiones del trabajo.

2. BASE DE DATOS

Para efectuar los cálculos que aquí se presentan, se emplearon tanto datos observacionales como datos en puntos de retícula.

La base de datos observacional corresponde a la presión reducida a nivel del mar medida a las 12 UTC durante el período comprendido entre marzo de 1997 y febrero de 2003, en 4 estaciones sinópticas de Sudamérica. Dos de ellas pertenecen a la Argentina: Paso de los Libres (29°S, 57°O; 70m) y La Rioja (29°S, 66°O; 430m), y las otras dos, a Chile: Antofagasta (23°S, 70°O; 137m) y Pudahuel (33°S, 70,7°O, 475m). En la Figura 1 se muestra la ubicación geográfica de dichas estaciones. Los datos de Argentina fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional, en tanto que los de Chile fueron obtenidos a partir de la red de datos GTS (Global Telecommunication System). Esta serie de datos fue previamente consistida, eliminando aquellos datos dudosos que corresponden a una mala anotación o a variaciones muy importantes en la presión que no puedan ser explicadas por ningún fenómeno meteorológico en la escala temporal de los datos (la base de datos original es horaria por lo cual la consistencia fue horaria). No se han completado los datos faltantes.

La segunda base de datos corresponde a los análisis del GDAS (Global Data Assimilation System) del National Centers of Environmental Prediction (NCEP) de la hora 12UTC, cuya resolución horizontal es de 1°. Este conjunto de datos abarca el mismo período que el utilizado para la información proveniente de las estaciones sinópticas de superficie. La región empleada es 83°O - 29,4 °O y 5,4 °S - 44,6°S y se muestra en la Figura 1. Si bien la utilización del sistema de Reanálisis del NCEP hubiera ofrecido la posibilidad de realizar una climatología de más largo plazo, se optó por limitar el período para ganar en resolución horizontal y representatividad en el área de estudio, ya que los reanálisis tienen una resolución de 2.5° y presentan deficiencias en regiones próximas a topografía escarpada. En este análisis, se emplean datos de la hora 12 UTC dado

que, en primer lugar, es la hora donde los análisis tienen mayor cantidad de datos asimilados por lo que se espera que representen mejor el estado de la atmósfera. En segundo lugar, porque L80 utilizó datos de este mismo horario, lo que hace más factible una comparación de los resultados.

Las estaciones del año se han considerado de la siguiente manera: VERANO: diciembre, enero y febrero; INVIERNO: junio, julio y agosto; OTOÑO: marzo, abril y mayo; PRIMAVERA: septiembre, octubre y noviembre.

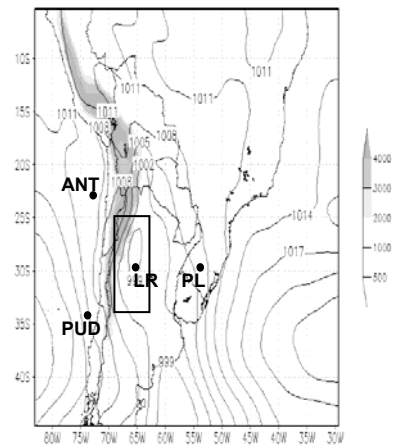


Figura 1. Presión reducida a Nivel del mar durante el evento DNOA del 2 de diciembre de 1997 a las 12UTC (en hPa). El mapa incluye el dominio de estudio con la topografía (sombreado las alturas mayores a 500m), ubicaciones geográficas de algunas estaciones meteorológicas empleadas (Paso de los Libres (PL), La Rioja (LR), Antofagasta (ANT) y Pudahuel (PU)). La caja hace referencia al dominio del Criterio DNOA.

3. INDICE de LICHTENSTEIN (I_L)

3.1. Definición de IL

Para poder llevar a cabo la identificación de los eventos DNOA se hizo una recopilación de las metodologías existentes que tratan de caracterizar al sistema. En tal sentido, Lichtenstein en su trabajo de tesis (1980), propone un índice que mide la intensidad de la DNOA, denominado por Seluchi y otros (2003) “índice de Lichtenstein $-I_L-$ ”, que se calcula como:

$$I_L = 0.5 [0.5 (P_{ANT} + P_{VAL}) + P_{PL}] - P_{LR}$$

donde P_{ANT} es la presión al nivel del mar en Antofagasta (23°S, 70°O; 137m), P_{VAL} en Valparaíso (33°S, 71°O; 41m), P_{PL} en Paso de los Libres (29°S, 57°O; 70m) y P_{LR} en La Rioja (29°S, 66°O; 430m). En el cálculo del índice I_L que se realiza aquí se emplea la estación Pudahuel dado que no se cuenta con los datos de Valparaíso. La proximidad entre las estaciones sugiere que esta diferencia no condiciona los resultados de este trabajo. Este índice es básicamente la expresión discretizada de la derivada segunda de la presión en el sentido zonal y, como tal, debería ser proporcional a la vorticidad geostrofica. Dado que la DNOA está inmersa en un sistema ciclónico de forma meridionalmente elongada, considerar en este índice las presiones al sur y al norte de su centro traería errores en su estimación, por lo que L80 emplea solamente la variación zonal de la presión. Los máximos de este índice indican mínimos de presión en La Rioja, localidad próxima al centro de la DNOA.

3.2. Variabilidad del Índice de Lichtenstein durante el período de estudio

Empleando observaciones diarias de presión reducida al nivel del mar de las 12 UTC del año 1967, L80 obtiene un valor medio anual de I_L de 3.1 hPa, con una desviación estándar de 4.7 hPa. La intensidad máxima la observa en diciembre ($I_L = 6.9$ hPa) y la mínima en junio ($I_L = 2.2$ hPa). La Tabla I muestra los valores medios y la desviación estándar del índice de Lichtenstein para todos los meses del año a partir de la muestra considerada en este trabajo (1997-2003). En este caso, se obtuvo una intensidad media anual de 2.8 hPa y una desviación estándar de 4.5 hPa. La mínima presión media mensual de la DNOA fue encontrada en noviembre ($I_L = 4.3$ hPa) y la máxima en julio ($I_L = 1.3$ hPa). Estos valores son menores a los encontrados por L80, pudiendo ser consecuencia de la mayor longitud del período analizado. Con respecto a la magnitud del desvío estándar, se observa que en todos los casos –excepto en Diciembre– es mayor que el valor medio, lo cual sugiere que el fenómeno es muy variable o que el índice no discrimina adecuadamente su ocurrencia. En realidad, el desvío estándar del índice está

representando fundamentalmente el desvío estándar de la presión en las estaciones sinópticas seleccionadas. Por ejemplo, en enero la mayor desviación estándar de la presión se observa en La Rioja - 5 hPa-, y la menor en Antofagasta -2 hPa-. Como es de esperar, la presión en las estaciones del lado Chileno presenta mucha menor variabilidad debido a la presencia del Anticiclón semipermanente del Pacífico, mientras que tanto Paso de los Libres como La Rioja, exhiben mayor variabilidad.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Media	3.81	3.18	3.01	1.98	1.82	1.42
Desvío estándar	3.97	4.71	4.06	4.53	4.38	4.65

	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Media	1.30	2.02	3.17	3.74	4.39	4.20
Desvío estándar	4.85	5.39	4.50	4.83	4.79	4.04

Tabla I. Tabla correspondiente al valor medio y a la desviación estándar del índice I_L de las 12UTC. Período: marzo 1997 –febrero 2003. El subrayado indica los valores máximos y mínimos anuales tanto del valor medio como de su desviación estándar.

Para ampliar la descripción estadística del I_L se presenta en la Figura 2 la marcha anual de la mediana, el primer y tercer cuartil, y los valores máximos y mínimos. Durante el mes de agosto se observan los valores extremos máximos y mínimos anuales, denotando la fuerte variabilidad del sistema en este mes. En los meses de julio y agosto se nota una mayor dispersión en comparación con la obtenida en los meses restantes. La mínima dispersión se observa durante el mes de enero.

Si bien durante el mes de julio no se obtienen los I_L mínimos más extremos, existe un mayor porcentaje de valores negativos del índice, evidenciando una tendencia hacia un aumento de la presión en La Rioja con respecto a las regiones aledañas al este y oeste. De abril a agosto el primer cuartil es negativo, denotando una menor frecuencia de ocurrencia de la baja. Todo lo contrario ocurre en los meses del período cálido donde el primer cuartil es positivo, marcando la mayor cantidad de

situaciones de baja presión relativa, lo cual ofrece algún indicio sobre el carácter térmico de la DNOA. Los meses de noviembre y diciembre son los que concentran el mayor porcentaje de valores más altos del índice de Lichtenstein.

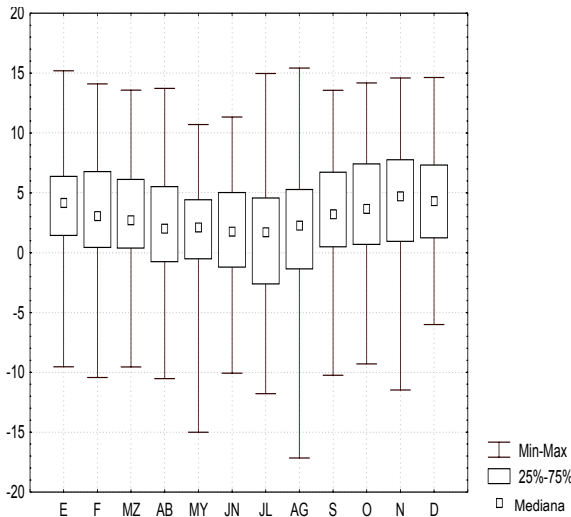


Figura 2. Evolución mensual de la mediana, del primer y tercer cuartil, y los valores máximos y mínimos del índice I_L de las 12UTC. Período: marzo 1997 - febrero 2003.

Según este índice, en el 75% de los días entre septiembre y marzo, la presión atmosférica en la región del Noroeste Argentino es más baja que en su entorno. Este porcentaje se reduce entre abril y agosto, cuando las irrupciones de aire frío se tornan más intensas y frecuentes, tornando los valores negativos de I_L más frecuentes y de mayor valor absoluto. En general, durante todo el año predominan las situaciones con índice I_L positivos, remarcando el rasgo dominante de la región del Noroeste Argentino a presentar presiones menores. En consecuencia, las mayores desviaciones aparecen en los meses de invierno, ya que al ser más frecuentes las irrupciones de aire frío (ligadas a la penetración de anticiclones migratorios), generan una mayor variabilidad en el índice.

4. FRECUENCIA DE OCURRENCIA DE LA DNOA

4.1. Criterios de Selección de eventos DNOA

En la sección anterior se ha caracterizado la variabilidad del “Índice de Lichtenstein”, arrojando

resultados similares a los mostrados por L80. A partir de la información expuesta, sin embargo, resulta necesario fijar un umbral, es decir, un valor mínimo, a partir del cual se pueda considerar que se trata de una DNOA. Si bien el índice de Lichtenstein caracteriza la variabilidad del mínimo de la presión sobre un área, éste no garantiza que se trate de un sistema de baja presión.

La posibilidad de contar con un criterio que discrimine los eventos DNOA permite no sólo su detección y el estudio de su frecuencia de ocurrencia, como se muestra en este trabajo, sino también la oportunidad de estudiar la estructura y la evolución de este sistema a partir de la composición de eventos correctamente seleccionados. Este último aspecto es parte de un trabajo en preparación.

Tomando como primera referencia el índice de Lichtenstein, se formula el siguiente criterio (C1) para catalogar la presencia de la DNOA:

$$\text{Criterio 1 (C1): i) } I_L > 0 ; \text{ ii) } I_L > I_{LM}$$

donde: I_{LM} es la mediana del índice para el mes correspondiente.

La desigualdad en el ítem (i) está vinculada con la exigencia de que el índice sea un indicador de la presencia de baja presión en el Noroeste Argentino, en tanto que en (ii) se requiere superar una cota que potencialmente discrimine los casos más intensos. En lo sucesivo se contabiliza como “días DNOA” a todos aquellos que cumplen con las condiciones del Criterio 1. Un “evento DNOA” podrá durar uno o más días, lo cual dependerá de que se cumpla el C1 un solo día o que lo haga durante varios días consecutivos. Por último, se tomó como “día 0” el día anterior al de la disipación, momento en que el sistema alcanza su mayor profundidad.

El cómputo del Criterio 1 permite determinar la cantidad de días bajo régimen DNOA, en tanto que el cómputo del “día 0” sirve para identificar un momento específico dentro de cada evento DNOA y contar cantidad de eventos.

El cálculo de la mediana de I_L para los 12 meses del año muestra que en 9 de ellos la mediana es mayor que el valor medio, en tanto que en los otros 3 meses (febrero, marzo y octubre) es levemente

menor, evidenciando en esos meses un mayor un mayor grado de normalidad en la muestra de datos. La Figura 3 ejemplifica la variabilidad diaria del I_L a las 12UTC para todos los meses de enero comprendidos entre 1998 y 2003. La línea punteada corresponde al valor de la mediana - I_{LM} del mes enero, que es 4,15 hPa. Este umbral emplazado en el gráfico permite discriminar los casos DNOA según el Criterio 1. La evolución temporal diaria del índice I_L para los meses de enero muestra que en más del 81% del total de los días de esta serie, el índice presenta valores positivos. Para el caso de julio (no mostrado) el porcentaje de días con valores positivos se reduce al 60%. Los resultados de la aplicación del Criterio 1 se muestran en la columna izquierda de la Tabla II. En líneas generales, se ve que la frecuencia de ocurrencia de la DNOA es bastante uniforme durante todo el año, siendo menor durante el otoño. Este resultado es interesante puesto que la DNOA está más frecuentemente ligada en la literatura a la estación cálida.

Cuando se inspeccionaron los campos de presión en superficie correspondientes a los eventos seccionados a partir del Criterio 1, se observaron que algunos no presentaban un patrón acorde a los eventos reconocidos como DNOA en la literatura (ver ejemplo en Figura 4). Esto se debió fundamentalmente a que dicho criterio puede seleccionar situaciones en las cuales la presión atmosférica es alta sobre alguna de las regiones adyacentes (o en ambas) y levemente baja en La Rioja, sin necesariamente mostrar la presencia de un centro cerrado de baja presión.

Si bien el Criterio 1 tiene la ventaja de ser de fácil aplicación, su formulación puede conducir a situaciones como las mencionadas, sobre todo en invierno, cuando los sistemas anticiclónicos se ven intensificados y avanzan con mayor frecuencia sobre el continente. En función de estas limitaciones se formuló un segundo criterio al que denominaremos “*criterio DNOA*”.

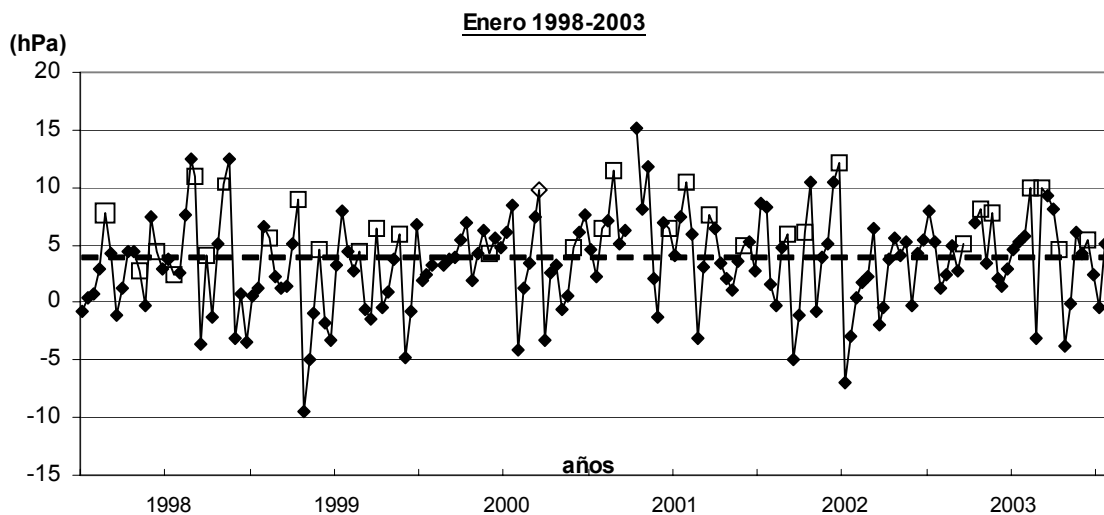


Figura 3. Evolución temporal diaria del índice I_L para el mes de enero, desde el año 1998 al 2003. La línea punteada corresponde al valor de la mediana de Enero definiendo el umbral para el Criterio 1. Los cuadrados corresponden al Criterio DNOA.

Para ello se emplearon los campos de presión reducida a nivel del mar de las 12UTC correspondientes a los datos analizados en puntos de retícula del NCEP, durante el período diciembre 1997 a febrero 2003, y se definió como “días DNOA” a todos aquellos días que cumplen las

siguientes condiciones:

- i) al menos una isobara cerrada de baja presión, en un campo analizado cada 1hPa
- ii) que dicho centro de baja presión este comprendido en una región $24^{\circ}\text{S}-33^{\circ}\text{S}$ y $64^{\circ}-68^{\circ}\text{O}$ (ver recuadro en Figura 1)

	Nº eventos DNOA "Criterio 1"	Nº eventos DNOA "Criterio DNOA"
Verano	107	89
Otoño	97	73
Invierno	106	92
Primavera	115	91

Tabla II. Cantidad de eventos según el Criterio 1 y el Criterio DNOA, por estación del año.

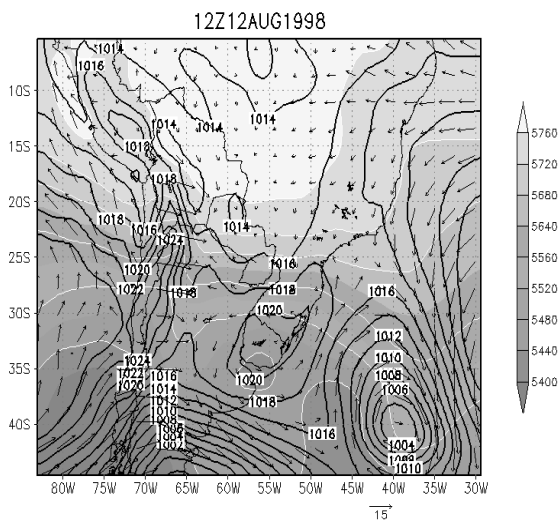


Figura 4 Campo de espesores 500/1000 hPa (m_gp, sombreado), presión a nivel del mar (hPa, contornos) y viento en 1000hPa (m s⁻¹, vectores) para 1 día particular de invierno, en que se cumple el Criterio 1 y no se reconoce un evento DNOA.

De acuerdo con L80, la DNOA se posiciona aproximadamente en los 30°S y tiene una mayor variabilidad latitudinal que longitudinal. Combinando esta información con la sectorización propuesta en el trabajo de Seluchi y otros (2003), se adoptó en ii) una región que incluye los dominios "N", "NAL" y la parte del dominio "S" de este último trabajo.

El "criterio DNOA" presenta semejanzas con el definido por Rowson y Colucci (1992) (denominado RC92) para identificar a la baja térmica de los Estados Unidos. En ese caso se requería que la isobara cerrada no migre a otra región (para diferenciarlas de las bajas frontales) y que ésta aparezca en al menos tres campos

temporales consecutivos, dada la gran persistencia que poseen dichos sistemas en la región. En la sección siguiente se retomará este estudio para compararlo con los resultados a partir de la selección propuesta.

Cuando se emplea el criterio DNOA, se obtienen diferencias como las que se aprecian en la Figura 3, donde los cuadrados abiertos incluidos marcan los casos seleccionados a partir de este último criterio. En general, puede apreciarse que esta metodología, si bien no es de fácil aplicación a fines operativos, es mucho más selectiva que el Criterio 1, y no necesariamente retiene los casos en que I_L es de mayor magnitud. Resultados similares (no mostrados) se presentan en todos los meses. Las mayores diferencias entre criterios se producen en el mes de julio.

4.2. Variabilidad Estacional de la Frecuencia de Ocurrencia de la DNOA.

En esta sección se presenta el análisis de resultados sobre la variabilidad estacional de la frecuencia de ocurrencia de eventos DNOA. Los casos fueron seleccionados a partir del "criterio DNOA" que, como fue explicado en la sección anterior, garantiza que los campos seleccionados incluyan la presencia de la DNOA.

4.2.1. Duración y ocurrencia estacional de la DNOA

La frecuencia estacional de la DNOA según el nuevo criterio propuesto, se sintetiza en la columna derecha de la Tabla II, donde independiente del criterio adoptado, se observa bastante uniformidad en la frecuencia de ocurrencia de eventos durante todo el año. Si bien el calentamiento en superficie no permitiría explicar la existencia de la DNOA durante las estaciones frías, la ocurrencia de subsidencia a sotavento de los Andes asociada a una perturbación ciclónica en altura podría ser el mecanismo que justificaría su existencia durante estas estaciones, como lo señalara L80. Este proceso es analizado y corroborado por Seluchi y otros (2003), para un evento particular de DNOA que ocurre durante invierno.

Cuando se comparan ambos criterios se observa que el Criterio 1 sobreestima la presencia del

sistema en cuestión, en concordancia con lo señalado en la sección 4.1 para enero (Figura 3).

La duración de los eventos DNOA durante las distintas estaciones del año según el *Criterio DNOA* se muestra en la Figura 5. En esta se puede ver que en líneas generales la DNOA tiene una duración dominante de entre uno y dos días, en tanto que los eventos largos son menos frecuentes. Los resultados para verano muestran una disminución gradual de los eventos con duración menor a 4 días. En cambio, durante el invierno, los eventos son más cortos, concentrándose entre 1 y 2 días. La frecuencia de episodios de 3 días o más decae progresivamente, hasta llegar a un único caso de 5 días de duración. La frecuencia de eventos largos aumenta en verano y las estaciones de transición (meses de primavera y otoño) donde se detectan casos extremos de hasta 7 y 8 días. El caso DNOA con duración 7 días corresponde a un evento ocurrido durante la campaña de medición de SALLJEX (South American Low Level Jet Experiment) que estuvo asociado a un intenso calentamiento en superficie exacerbado por una importante subsidencia de gran escala (Cerne y otros 2007), lo que promovió no sólo el calentamiento en superficie sino también en niveles medios (Saulo y otros 2005).

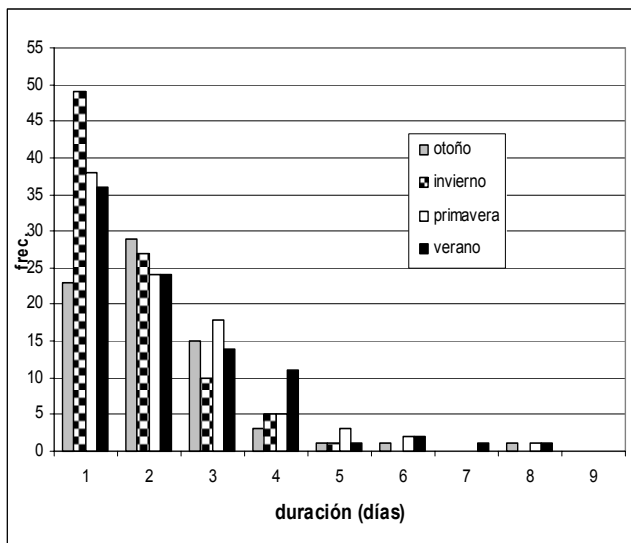


Figura 5 Duración (en días) de los eventos DNOA para todas las estaciones del año empleando el criterio DNOA

A diferencia del resto de las estaciones, en otoño prevalecen los eventos de dos días, con una considerable disminución de los eventos de 1 día. En general las diferencias entre la primavera y el verano son pocas. Esto estaría vinculado con el persistente calentamiento (de origen radiativo en superficie que puede combinarse con subsidencia de gran escala o local) que permite a la DNOA perpetuarse hasta que algún mecanismo de enfriamiento la disipe (Seluchi y otros 2003).

La Tabla III permite complementar los resultados anteriores, indicando la cantidad de días bajo régimen de DNOA. El porcentaje de días DNOA en primavera (35.8%) es similar al hallado en verano (37.4%), en tanto que en invierno y otoño esta cantidad disminuye a un 28%, aproximadamente. Esto muestra que a pesar de existir una variación entre las distintas estaciones del año, esta no es muy marcada. De todas maneras, este resultado es consistente con lo discutido anteriormente: al presentar los eventos de invierno y otoño una menor duración, una cantidad “semejante” de eventos conduce a una proporción de días bajo régimen DNOA menor.

	Si-DNOA	No-DNOA	Días totales
Primavera	196	350	546
Verano	202	338	540
Otoño	155	397	552
Invierno	158	394	552

Tabla III. Cantidad de días en que se cumple el criterio DNOA.

La similitud en la cantidad de días que presentan DNOA en las diferentes estaciones del año sugiere que este sistema térmico es controlado por procesos de calentamiento que pueden tener origen diferente pero que, en definitiva, conducen a la disminución de la presión en superficie a lo largo de todo el año. En concordancia con lo propuesto por Seluchi y otros (2003), se esperaría que en la estación cálida el sistema exista por el calentamiento radiativo diferencial que afecta el Noroeste Argentino. En cambio, durante los meses en que la actividad sinóptica es más intensa y la progresión de ondas baroclínicas llega hasta

latitudes relativamente más bajas, la subsidencia forzada a sotavento de Los Andes (asociada a la delantera de la vaguada en altura) sería el proceso más efectivo para generar el calentamiento que conduce a la disminución de la presión en superficie. Algo semejante propuso L80, quien, además, también indicó la advección cálida como mecanismo de calentamiento de la DNOA. Si bien no es el objetivo de este trabajo profundizar en el análisis de estos procesos, es interesante remarcar que el comportamiento estadístico del sistema de baja presión es consistente con los procesos propuestos en trabajos previos. En efecto, su duración mayor en verano (o la mayor cantidad de casos más largos) es coherente con la persistencia de los procesos radiativos, que se tornan más eficientes en una región de suelo arenoso/arcilloso y fuerte insolación. La menor duración en invierno es consistente con la actividad baroclínica, donde las vaguadas en altura, generadoras de calentamiento por subsidencia forzada, tienen una frecuencia relativamente alta y un desplazamiento más rápido. Una discusión detallada de la estructura y los procesos que conducen a la formación de la DNOA durante este período de estudio se realiza en Ferreira (2008) y algunos resultados seleccionados son objeto de un trabajo en preparación.

Con el objetivo de comparar la frecuencia de ocurrencia de la DNOA con la de otros sistemas térmicos en el mundo, se incluyen los resultados de Rowson y Colucci (1992) para la baja térmica del sudoeste de Estados Unidos y México, y se los compara con los obtenidos con el criterio DNOA.

La Figura 6 muestra, en porcentajes, la cantidad media de días donde se detecta a la DNOA para cada estación del año según el criterio aquí adoptado, junto a los casos encontrados por Rowson y Colucci (1992) empleando 10 años de datos. Es interesante notar la marcada estacionalidad de la depresión de Norte América, asociada con el intenso calentamiento de superficie sobre el desierto de Arizona y con el desarrollo del monzón de Norte América. Esta estacionalidad contrasta con la mostrada por la DNOA, reforzando la idea que el calentamiento radiativo en el Noroeste Argentino no es el único forzante que explica la existencia de la DNOA. Cabe aclarar que si bien el criterio RC92 y el DNOA no son iguales, su comparación es válida a los efectos de mostrar

la estacionalidad de los sistemas, y la diversidad e importancia de los forzantes en su generación.

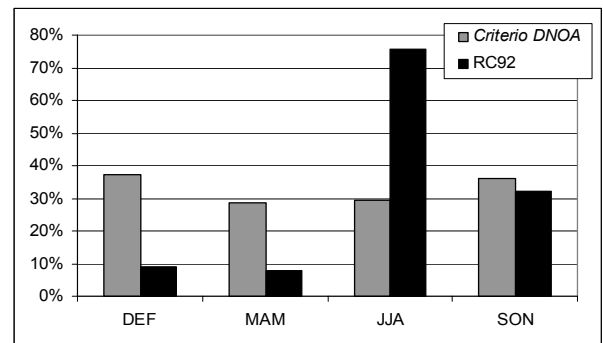


Figura 6. Comparación del porcentaje medio de días con isobara cerrada de baja presión en las cuatro estaciones del año. Criterio DNOA (en gris) y Rowson y Colucci, 1992 (en negro)

4.2.2. Variación estacional de la posición del centro de la DNOA.

El criterio de selección de eventos DNOA adoptado permite también caracterizar la variación en la posición del centro de la DNOA. Esta caracterización permitiría evaluar, por ejemplo, la variabilidad espacial de este sistema en las distintas estaciones del año y, en una fase posterior –que no es objeto de este trabajo–, vincular los procesos dominantes en la formación de la DNOA con la posición media de su centro. En esta sección se presenta un análisis estacional de la ubicación geográfica del mínimo de presión para el día 0 de los eventos seleccionados con el criterio DNOA, y el valor medio de la presión reducida a nivel del mar de estos mínimos de presión. Los cálculos se efectúan empleando los campos analizados de presión reducida a nivel del mar del GDAS y los resultados se muestran en la Figura 7.

El posicionamiento del centro ciclónico en la mayoría de los casos se mantiene preferentemente entre los 25° y los 30°S durante todas las estaciones del año. Para L80, la posición del centro de la DNOA es próxima a los 30° S y 66° O, en tanto que en el presente caso, casi todos los mínimos de presión asociados a eventos DNOA están más al norte de esta posición. Esta diferencia podría estar relacionada con la resolución espacial empleada en nuestros análisis, que es mayor a la empleada por L80.

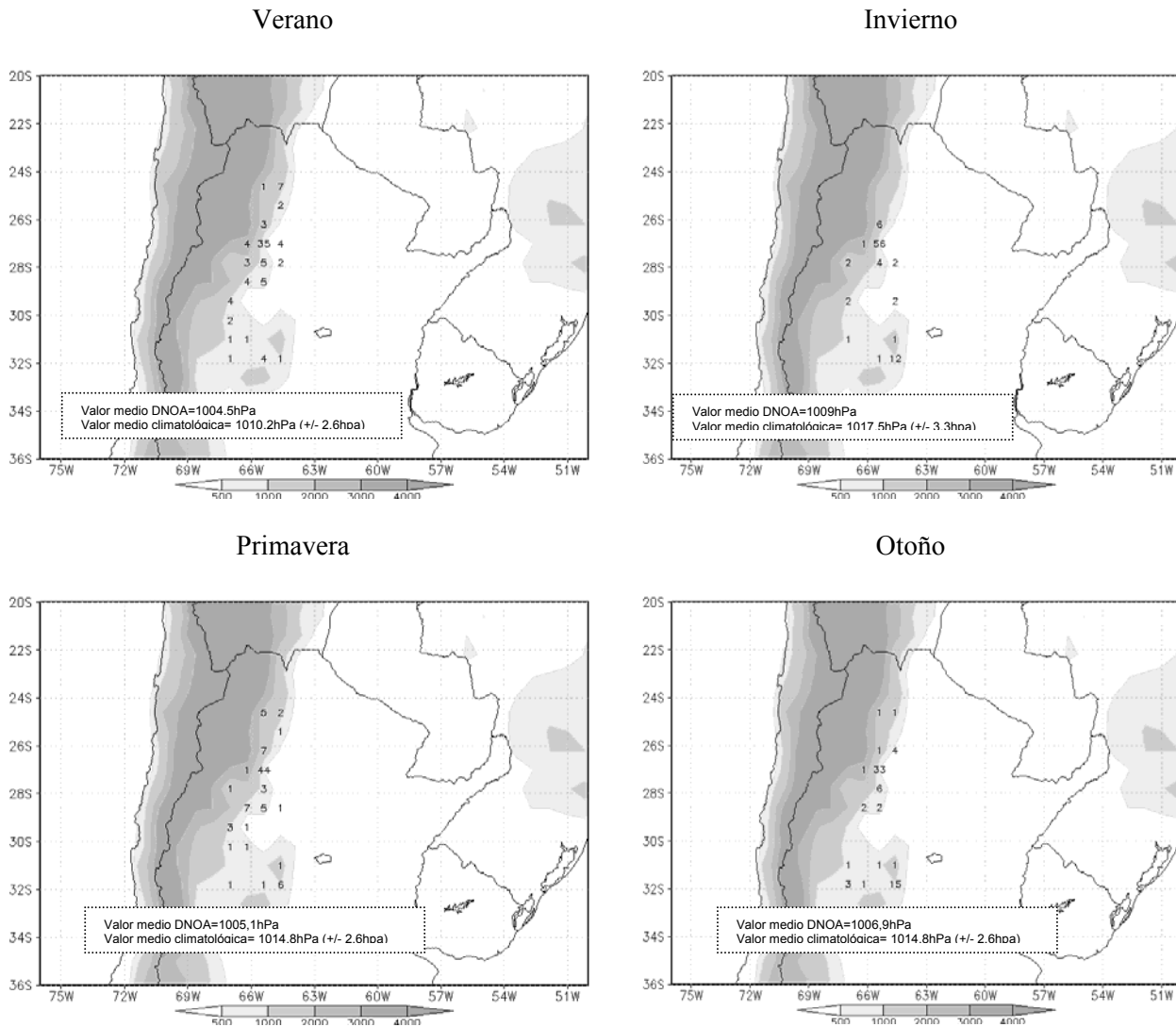


Figura 7. Ubicación geográfica y frecuencia absoluta del mínimo de presión en los “días O” de los eventos DNOA para todas las estaciones del año. El mapa incluye la topografía.

En cuanto a la variación de la ubicación del centro en las distintas estaciones del año, el invierno es el momento en que la misma es menos variable, en tanto que el verano y la primavera presentan mayor variación latitudinal. Durante las estaciones cálidas la existencia de un calentamiento superficial generalizado en la región del Noroeste Argentino, haría que el mínimo de presión se manifieste en una región más amplia, y por lo tanto exhiba una mayor variabilidad espacial que en las estaciones frías.

Los valores medios de presión en el centro del sistema para el verano y la primavera son de 1004,5 hPa y de 1005,1 hPa respectivamente. Estos aumentan para invierno a 1009,0 hPa y otoño a 1006,2 hPa. Los valores medios de los mínimos de presión obtenidos para los eventos DNOA seleccionados, son más bajos cuando se los compara con los valores medios de la presión obtenidos por L80. Resulta de interés el punto ubicado en 32°S 65°O, que aparece en todas las estaciones del año y está en el borde de la caja

indicada en la Figura 1. Es probable que este mínimo de presión, asociado con la ocurrencia de DNOA, se produzca como respuesta a un efecto local vinculado a las sierras de Córdoba.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se proponen y analizan diversas metodologías para detectar eventos DNOA con el objeto de poder documentar su posición, intensidad y la duración de los mismos a lo largo del año. Se utilizan para ello datos observacionales diarios de presión reducida a nivel del mar en distintas localidades de Sudamérica, y los análisis diarios del NCEP durante el período diciembre de 1997 a febrero de 2003.

El cálculo del índice de Lichtenstein " I_L " para el período de estudio mostró que los valores medios son menores a los hallados en L80, donde se empleó solamente un año. La variación mensual del índice I_L fue similar a la mostrada en L80, con un máximo de intensidad a fines de la primavera y un mínimo en invierno. Si bien este índice es un indicador de la presencia de la DNOA, dado que determina la presencia de un mínimo relativo de presión sobre el Noroeste Argentino, fue necesario generar un criterio para individualizar los eventos, ya que el índice por sí sólo puede no resultar adecuado para discriminar la ocurrencia de la DNOA. En función a esto, en este trabajo se propusieron dos criterios.

El *Criterio 1* resultó ser de fácil aplicación operativa, pero poco robusto ya que su empleo derivó en la selección de algunos eventos que no se corresponden con casos típicos de DNOA. En tal sentido y como trabajo a futuro, se podrían emplear otras variables termodinámicas y/o dinámicas que puedan complementar al criterio, y de esta manera filtrar los eventos espurios.

En cambio el *criterio DNOA*, si bien no cumple con las expectativas de un índice fácilmente automatizable, ya que se basa en la inspección subjetiva de los campos analizados de presión en superficie, fue el más confiable a la hora de seleccionar los eventos. Es por ello que para la caracterización estadística de la ocurrencia de eventos DNOA se ha decidido emplear dicho criterio.

A partir de la aplicación del *criterio DNOA*, se identificaron casi tantos casos de DNOA en verano como en el resto de las estaciones del año. Esto mostró que estos sistemas constituyen un patrón que caracteriza el clima de la región durante todo el año. En cuanto a la cantidad de días bajo régimen DNOA, ésta es menor en invierno y otoño que en verano y primavera, indicando de alguna manera la ocurrencia de una mayor cantidad de eventos largos en estas últimas estaciones. Otoño resultó ser la estación donde los eventos DNOA son menos frecuentes. El hecho de tener una gran cantidad de eventos durante el invierno y las estaciones de la transición, es consistente con las hipótesis propuestas por Seluchi y otros (2003): no sólo el calentamiento radiativo es el agente que promueve al sistema sino que también operan otros, como, por ejemplo, los asociados a la subsidencia forzada resultante de la interacción de la topografía con las ondas baroclínicas. Esto también había sido señalado por L80, quien además consideró que la advección cálida tenía un rol muy importante, efecto que también explicaría la presencia del sistema a lo largo de todo el año.

Se considera que este trabajo contribuye a documentar diversos aspectos estadísticos de la DNOA, derivados a partir de un período sustantivamente mayor que cualquier otro antecedente al respecto. Si bien algunas características coinciden con L80, se consolida un criterio de selección de casos y se cuantifican aspectos como su posición media (al norte de la indicada por L80), su intensidad media (más profunda que la señalada en L80) y su duración según las estaciones del año, aspecto no cuantificado con anterioridad. Estos parámetros y su variación pueden ser relacionados con los procesos que modulan este sistema. El estudio pormenorizado de estos procesos, es parte de un trabajo en elaboración.

Agradecimientos: Los autores agradecen a los revisores sus comentarios y sugerencias. Este trabajo ha sido posible gracias a los siguientes proyectos: ANPCyT PICT 2004 25269, UBACyT X204; CONICET PIP 112-200801-00399; PROSUL 490225/2008-0 y 305302/2006-0 CNPq.

REFERENCIAS

- Cerne B., Vera C. y Liebmann B., 2007. The nature of a heat wave in eastern Argentina occurring during SALLJEX. *Mon. Wea. Rev.* **135**, 1165-1174.
- Ferreira L., 2008. Causas y variabilidad de la Depresión del Noroeste Argentino e Impactos sobre los Patrones Regionales de Circulación. Tesis Doctoral. 181p. Universidad de Buenos Aires.[Disponible Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Ciudad Universitaria (1428) Buenos Aires, Argentina].
- Lichtenstein E.R., 1980. La Depresión del Noroeste Argentino. Tesis Doctoral. Disertación. 133 pp. [Disponible en el Departamento de Ciencias de la Atmósfera, Ciudad Universitaria (1428) Buenos Aires, Argentina].
- Rowson D.R., y Colucci S.J., 1992. Synoptic climatology of thermal low-pressure systems over southwestern North America. *Int. J. Clim.*, **12**, 529-545.
- Saulo C., Seluchi M.E. y Nicolini M., 2004. A Case Study of a Chaco Low Level Jet Event. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 11, 2669–2683.
- Saulo C., Ferreira L. y Seluchi M.E., 2005. La Depresión del Noroeste Argentino durante el Salljex. *IX Congreso Argentino de Meteorología*. Buenos Aires, 3-7 de octubre de 2005, 10 pp.
- Schwerdtfeger W.C., 1950. La depresión térmica del Noroeste Argentino. *Anales de la Sociedad científica Argentina*. Tomo CL, Buenos Aires.
- Schwerdtfeger W.C., 1954. Análisis sinóptico y aspecto climatológico de dos distintos tipos de depresiones bariicas en el norte de la Argentina (en español). *Meteoros*, **4**, 301-323.
- Seluchi M.E. y Marengo J.A., 2000. Tropical-Midlatitude Exchange of Air Masses during Summer and Winter in South America: Climatic aspects and examples of intense events. *Int. J. Clim.*, **20**, 1167-1190.
- Seluchi M.E., Saulo C., Nicolini M., y Satyamurty P., 2003. The Northwestern Argentinean Low: A Study of Two Typical Events. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 2361-2378.
- Vera C., Higgins W., Amador J., Ambrizzi T., Garreaud R., Gochis D., Gutzler D., Lettenmaier D., Marengo J., Mechoso C.R., Nogues-Paegle J., Silva Dias P.L., y Zhang C., 2006. A Unified View of the American Monsoon Systems. *J. Climate*, Vol. **19**, 4977–5000.