

NOTAS Y CORRESPONDENCIA

DESCRIPCIÓN DE LAS VARIACIONES HORARIAS MEDIAS DE PRESIÓN EN LA ARGENTINA Y SU INFLUENCIA EN LOS SISTEMAS BÁRICOS

Norma Possia, Bibiana Cerne y Claudia Campetella

Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,
UBA
Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA) - CONICET-UBA UMI IFAECI/CNRS,
Argentina

(Manuscrito recibido el 31 de marzo de 2013, en su versión final el 28 de agosto de 2013)

RESUMEN

La presión atmosférica horaria media mensual presenta una variación semidiurna regular de unos pocos hectopascuales (entre 4 y 2 hPa aproximadamente), efecto conocido como marea barométrica. Si bien la existencia de esta oscilación es ampliamente conocida, en este trabajo se la documenta en forma mensual para algunas estaciones de Argentina.

La variación semidiurna es más importante durante los meses cálidos que fríos. Los máximos y mínimos principales tienen lugar entre las 12 y 14 UTC y 20 y 21 UTC, y presenta tres tipos de comportamientos. La región Centro y Este donde la amplitud disminuye con el aumento de la latitud y muestran un ciclo estacional marcado. La región Patagónica con menor amplitud pero con mayor diferencia entre verano e invierno que la región anterior. Y la región Oeste, que presenta la amplitud de onda más importante y además la mayor diferencia entre verano e invierno. La longitud de onda es 5 horas mayor en verano que invierno en las estaciones estudiadas. La amplitud de estas oscilaciones estaría modulada no sólo por el efecto de térmico del sol sino también por otros efectos locales.

La marea barométrica afecta de distinta forma a la profundidad de los sistemas béricos según la hora en que ellos tengan lugar, por lo que este resultado debería ser tenido en cuenta en el momento de definir y caracterizar la profundidad de los ciclones/anticiclones para realizar cualquier estudio y/o pronóstico del tiempo.

Palabras clave: : variación horaria media de la presión, marea barométrica.

DESCRIPTION OF HOURLY MEAN VARIATIONS OF PRESSURE IN ARGENTINA AND ITS APPLICATION TO PRESSURE SYSTEMS

ABSTRACT

The hourly monthly mean atmospheric pressure variation has a semidiurnal oscillation of few hectoPascals (between approximately 4 and 2 hPa), an effect known as barometric tide. The existence of this oscillation is well known but not well

documented, so this work describes the monthly barometric tide for some synoptic stations from Argentina.

The semidiurnal variation of pressure is more important during the warm months. The principal maximum and minimum take place between 12 and 14 UTC and 20 and 21 UTC and presents three types of behaviors. The Central and East regions, where the amplitude decreases as the latitude increase and show an important seasonal cycle. The Patagonia region, with smaller amplitude but showing a greater difference between summer and winter than the previous region. And the West region, which has the largest wave amplitude and also the largest difference between summer and winter. The wavelength is 5 hours greater in summer than in winter for the whole synoptic stations studied. The amplitude of these oscillations would modulated not only by the effect of heat from the sun but also for other local effects. Depending of the time of the day, the barometric tide affects in a different way the depth of pressure systems. So this result should be taken into account when defining and characterizing the depth of cyclones / anticyclones for the analyses and weather forecast.

Keywords: hourly variations of pressure, barometric tides.

1. INTRODUCCIÓN

Si se quiere estudiar la dinámica de los sistemas del tiempo no se puede prescindir de estudiar a la presión de superficie. Las variaciones de esta variable meteorológica condensan el comportamiento de la temperatura, la precipitación y el viento.

El valor promedio de la presión a nivel medio del mar es 1.013,25 hPa pero puede sufrir modificaciones de hasta 30 hPa en un día como consecuencia de los sistemas del tiempo en latitudes medias (Wallace y Hobbs, 2006). Además presenta una variación diurna y otra semidiurna, regular y de unos pocos hectopascales (aproximadamente 2,5 hPa en promedio según Lindzen y Chapman, 1970) conocida como efecto de la marea barométrica.

El calentamiento de la atmósfera debido a la radiación solar combinado con los procesos turbulentos de calentamiento desde el suelo, generan ondas de gravedad internas con períodos diurno y semidiurno. Estas ondas, causan oscilaciones regulares en los campos de viento, temperatura y presión, las cuales se conocen como mareas en la atmósfera, que para

el caso de la presión recibe el nombre de marea barométrica (Dai y Wang, 1999 y las referencias allí mencionadas). La marea barométrica es una característica importante de la estructura y la circulación de la atmósfera media y alta (Lindzen y Chapman, 1970).

Las oscilaciones en la presión además de tener un forzante térmico, están sometidas a uno gravitacional debido a la influencia del Sol y de la Luna. En el océano, el efecto de la marea gravitatoria se conoce desde 300 años antes de JC (Lindzen y Chapman, 1970), pero fue Newton (1687) quien dijo que la fuerza de las mareas afecta tanto al océano como a la atmósfera, pero en esta última su efecto es mucho menor. En la atmósfera, por sus características de fluido compresible y sin condiciones de contorno, la marea gravitatoria es casi despreciable, alrededor de 20 veces menor que la térmica (Lindzen y Chapman, 1970). Por lo tanto es el Sol el responsable de estas variaciones diarias de la presión (Dai y Tremberth 2004, Woolnough y otros 2004). Si se remueven las ondas baroclínicas al campo de presión, se observa claramente un ciclo semidiurno (Covey y otros, 2011).

La teoría clásica (Lindzen y Chapman, 1970)

propone que, en superficie, la marea atmosférica que predomina en todo el globo es la semidiurna y esta regularmente distribuida tanto en amplitud como en fase. Estudios recientes muestran que la variación diurna es comparable a la semidiurna en muchas partes del globo, excepto sobre el océano y en algunas regiones continentales en bajas latitudes (Dai y Wang 1999). El efecto de las mareas es más notorio en la región ecuatorial que en las regiones polares (Lindzen y Chapman, 1970). Dai y Wang (1999) señalan que en las regiones polares es siempre más importante la componente semidiurna de la oscilación.

Si bien estas oscilaciones producen variaciones de muy pocos hectopascales tienen importancia en la profundidad de los sistemas sinópticos. Por ejemplo, hay autores (Rogers y Bosart, 1986 entre otros) que analizan la condición de “ciclón explosivo” considerando la profundidad de los sistemas en 12 horas en lugar de en 24 horas como lo sugieren Sanders y Gyakum (1980). En estos casos dependiendo del momento del día en que tenga lugar la tendencia negativa de la presión por efectos de la escala sinóptica, ella se podría ver incrementada o disminuida por el efecto de la marea.

En Argentina este efecto no ha sido documentado en detalle a pesar de la importancia que reviste en favorecer o no la profundidad de los sistemas béricos, en especial en la región de mayor ocurrencia de ciclones sobre el continente en el sur de Sudamérica (Necco, 1982; Gan y Rao, 1991; Mendes y otros, 2007; Possia, 2004; entre otros). Es por esa razón que el objetivo del presente estudio es describir las variaciones horarias de la presión de superficie y de la presión a nivel medio del mar y explorar su posible influencia en la profundidad de algunos sistemas de presión de superficie.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

En el presente estudio se utilizaron los datos horarios de presión de superficie

(ps) y de presión a nivel medio del mar (pm) correspondientes a los años 1991 a 2010 provenientes de las observaciones de las estaciones meteorológicas de la red del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Se utilizó dicho período ya que a partir de 1991 aumentó considerablemente la cantidad de estaciones sinópticas que realizan observaciones horarias. No se realizó un exhaustivo control de calidad de la información ya que el SMN realiza el control de calidad sugerido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, Nro 8, 1966) para las distintas variables. Solamente se verificó el rango de valores aceptables para la presión de acuerdo a la altura de cada estación según lo sugerido por la OMM (Nro 8, 1966) y la cantidad de información horaria faltante.

Para describir el comportamiento horario de ps y pm se seleccionaron las estaciones mostradas en la Figura 1. Las mismas están localizadas en una latitud que representa al centro del país (estaciones 4 a 8 de la Figura 1, 33°S aproximadamente) y sobre dos longitudes en el este (estaciones 1, 7, 10, 13, 14 y 15) y en el oeste del país (estaciones 2, 3, 9, 11 y 12), para comparar las diferencias entre latitudes subtropicales y medias según lo sugieren Lindzen y Chapman (1970). Cabe destacar que estas estaciones presentaron no más de 14 % de datos faltantes sobre un total de 175.320 registros horarios en 20 años. La Figura 1 muestra que sólo 3 estaciones superaron el 10 % de datos faltantes y en todas las restantes este valor es inferior al 6 %. Es de destacar que Mendoza Aero es la serie casi completa con el 99,5 % de los datos. Esto permite realizar una buena estimación de la variación horaria de la presión de superficie y a nivel medio del mar.

Como el objetivo del presente estudio es documentar la variación horaria de la presión, se utilizó para calcularla una metodología sencilla que consistió en calcular el valor medio horario anual y mensual de la presión a nivel medio del mar y de superficie.

| | Estación Meteorológica | Altura | Longitud | Latitud | Faltante (%) |
|----|------------------------|--------|----------|---------|--------------|
| 1 | Resistencia Aero | 52 m | -59,03 | -27,27 | 5,59 |
| 2 | Catamarca Aero | 454 m | -65,46 | -28,36 | 13,44 |
| 3 | San Juan Aero | 598 m | -68,25 | -31,34 | 2,77 |
| 4 | Mendoza Aero | 704 m | -68,47 | -32,5 | 0,52 |
| 5 | San Luis Aero | 713 m | -66,21 | -33,16 | 5,65 |
| 6 | Río Cuarto Aero | 420 m | -64,14 | -33,07 | 5,95 |
| 7 | Rosario Aero | 25 m | -60,47 | -32,55 | 10,87 |
| 8 | Gualectuaychú Aero | 21 m | -58,37 | -33 | 13,51 |
| 9 | San Rafael Aero | 748 m | -68,24 | -34,35 | 1,18 |
| 10 | Bahía Blanca Aero | 83 m | -62,1 | -38,44 | 5,55 |
| 11 | Neuquén Aero | 271 m | -68,08 | -38,57 | 5,82 |
| 12 | Esquel Aero | 797 m | -71,09 | -42,56 | 2,60 |
| 13 | Trelew Aero | 43 m | -65,16 | -43,12 | 6,34 |
| 14 | San Julián Aero | 62 m | -67,45 | -49,19 | 5,62 |
| 15 | Ushuaia Aero | 57 m | -68,19 | -54,48 | 10,5 |

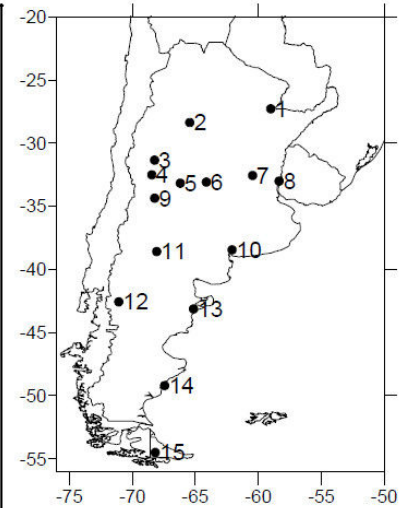


Figura 1: Ubicación de las estaciones utilizadas en el presente estudio y porcentaje de datos faltantes en cada una de ellas en el período 1991-2010.

Se calcularon los promedios horarios anuales (pha) de ps y pm según la ecuación 1:

$$pha(h) = \frac{1}{N_1} \sum_a \sum_m \sum_d p(h, d, m, a) \quad (1)$$

$a = \text{año}, m = \text{mes}, d = \text{día}, h = \text{hora}$

donde N_1 es el producto entre el número de días, el número de meses y el número de años. Los promedios horarios mensuales (phm) según la ecuación 2:

$$phm(h, m) = \frac{1}{N_2} \sum_a \sum_d p(h, d, m, a) \quad (2)$$

donde N_2 es el producto entre el número días y el número de años.

Con el fin de explorar si la marea barométrica desempeña algún rol en la profundidad de los sistemas de superficie, se utilizó la base de datos cuatridiurnos reanalizados del NCEP (Physical Sciences Division, Earth System Research Laboratory, NOAA, Boulder, Colorado, from their Web site at <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>).

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para realizar este estudio se empleó la presión medida a nivel de la estación, es decir ps, pero para poder realizar una discusión comparativa entre estaciones fue necesario considerar la presión reducida a nivel medio del mar (pm).

En la Figura 2 se muestran pha de ps y pm para 8 de las estaciones meteorológicas analizadas. En todas ellas se observa claramente una doble onda diaria. Los máximos principales se presentan entre las 12 y las 14 UTC y los secundarios entre las 3 y las 4 UTC, mientras que el mínimo más profundo se da entre las 20 y 21 UTC y el menos profundo entre las 7 y las 9 UTC. Para los promedios horarios anuales tanto la presión a nivel de la estación como la presión a nivel medio del mar presentan un comportamiento similar.

La mayor caída de presión se produce entre las 13 y las 21 UTC y las mayores variaciones se observan en las estaciones ubicadas en el norte y centro del país concordando con lo señalado por Lindzen y Chapman (1970). Los valores de pm entre las 12 y las 21 UTC varían desde 4,3

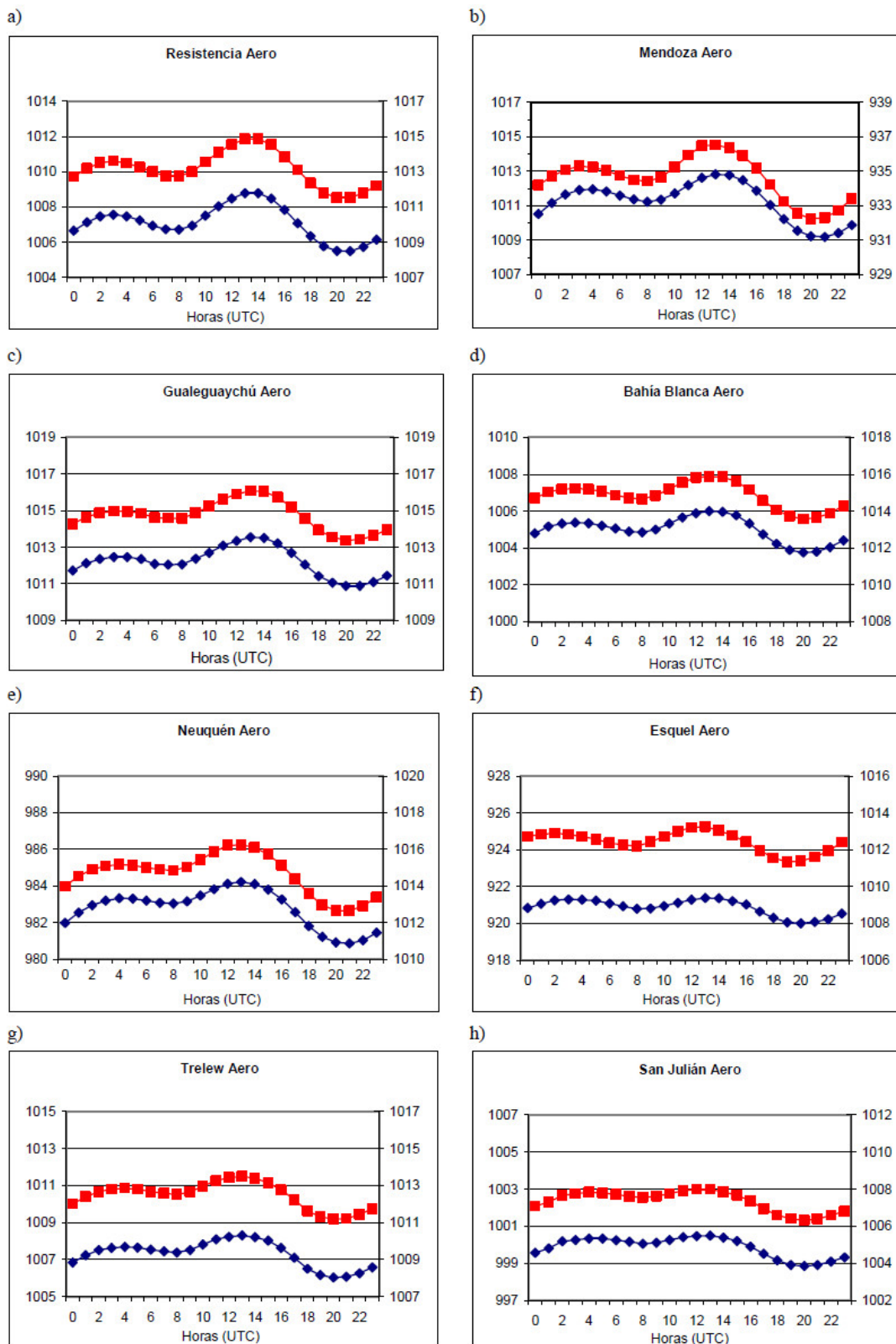


Figura 2: Marcha horaria anual de la presión de superficie (azul, eje izquierdo) en hPa y de la presión a medio nivel medio del mar (rojo, eje derecho) en hPa, para las estaciones meteorológicas: a) Resistencia Aero, b) Mendoza Aero, c) Gualeguaychú Aero, d) Bahía Blanca Aero, e) Neuquén Aero, f) Esquel Aero, g) Trelew Aero y h) San Julián Aero.

hPa, en las estaciones ubicadas en el norte y centro de la Argentina, hasta 1,7 hPa en las del sur, por ejemplo San Julián Aero. Se aprecia en dicha figura una marcada disminución del efecto diurno con el aumento de la latitud.

Debido a los valores importantes de las variaciones de presión horaria anual, se analiza cómo varía a lo largo del año la diferencia entre la presión horaria media mensual máxima y mínima (ecuación 2), de aquí en más amplitud de la onda de presión (Fig. 3). En todas las estaciones se observa que la amplitud de la onda de presión es más grande en los meses más cálidos que en los meses más fríos (mayo, junio y julio). En las estaciones de la Región Centro y Este, la amplitud de la onda de presión disminuye con el aumento de la latitud y muestran un ciclo estacional marcado ya que las diferencias entre verano e invierno son de alrededor de 1 hPa (Fig. 3.a, c y d y las figuras no mostradas correspondientes a las estaciones Rosario Aero y Río Cuarto Aero). Las estaciones de la Región Patagónica presentan un comportamiento similar a las estaciones de la región anteriormente descrita en cuanto a la relación del valor de la amplitud con el incremento de la latitud, pero muestran un leve incremento en la variación entre el verano e invierno de más de 1,5 hPa. (Fig. 3, e y f). Pertenece también a esta región Esquel Aero y Ushuaia Aero. Mendoza, como estación representativa de Región Oeste, (Fig. 3.b) muestra una importante amplitud de la onda de presión y además una diferencia entre verano e invierno de 2 hPa, aproximadamente. La estación meteorológica que presentó una mayor variación de la phm fue San Juan Aero, donde la diferencia llegó a 6,7 hPa en el mes de diciembre (Fig. 4.b). Estas grandes variaciones caracterizan a las estaciones ubicadas en la Región Oeste analizadas en el presente estudio, San Juan Aero (Fig. 4.a), Mendoza Aero (Fig. 3.b), San Rafael Aero, Neuquén Aero, San Luis Aero y Catamarca Aero (figuras no mostradas). Otra característica de esta región es la diferencia de intensidad entre las amplitudes de ps y pm que se registra en invierno y primavera. Para

ejemplificar, en las Figuras 3.b y 4.a (Mendoza Aero y San Juan Aero respectivamente) se observa una diferencia que alcanza 0,8 hPa en los meses de agosto y septiembre. En San Rafael Aero (figura no mostrada) esta diferencia llega 1 hPa en los meses de mayo y junio.

Al encontrar que el comportamiento anual de la amplitud de la onda diaria media mensual de la presión no es uniforme en todas las regiones, se decidió explorar con más detalle la longitud de la onda media horaria mensual (Ec. 2). En la Figura 5 se graficaron las marchas horarias de los meses de enero y julio, como representativos de los meses cálidos y fríos, para las estaciones meteorológicas de Mendoza Aero, Gualeguaychú Aero y Trelew Aero como representativas de los 3 distintos comportamientos en cuanto a la amplitud de onda de presión ya descritos. Además se calculó, para estas estaciones, la desviación estándar (DE) respecto a dichos promedios horarios mensuales con el fin de utilizarlos como parámetros comparativos de la amplitud de la onda y de esta forma estimar, en primera aproximación, la importancia de dicha amplitud en la evolución horaria de los sistemas del tiempo. Para cada estación, la DE horaria mensual es casi constante.

La amplitud de la onda de presión en Mendoza, durante el verano, es de aproximadamente 5 hPa, mientras que la DE no supera los 3,6 hPa durante todas las horas del día, mientras que en julio, la amplitud es inferior a los 3 hPa y la DE es aproximadamente 6 hPa (Fig. 5.a y b). Esto nos estaría indicando cuán importante es el aporte del campo medio en la evolución diaria de la presión en las estaciones de la Región Oeste durante el período estival. En invierno la amplitud de la onda de presión representa la mitad de la DE, si bien es menos importante su aporte que en el verano no por eso es despreciable. Con respecto a la estación representativa de Región Centro y Este en ambos meses la amplitud es menor que la DE, con una diferencia de 1 hPa en el verano y aproximadamente la mitad en el invierno, o

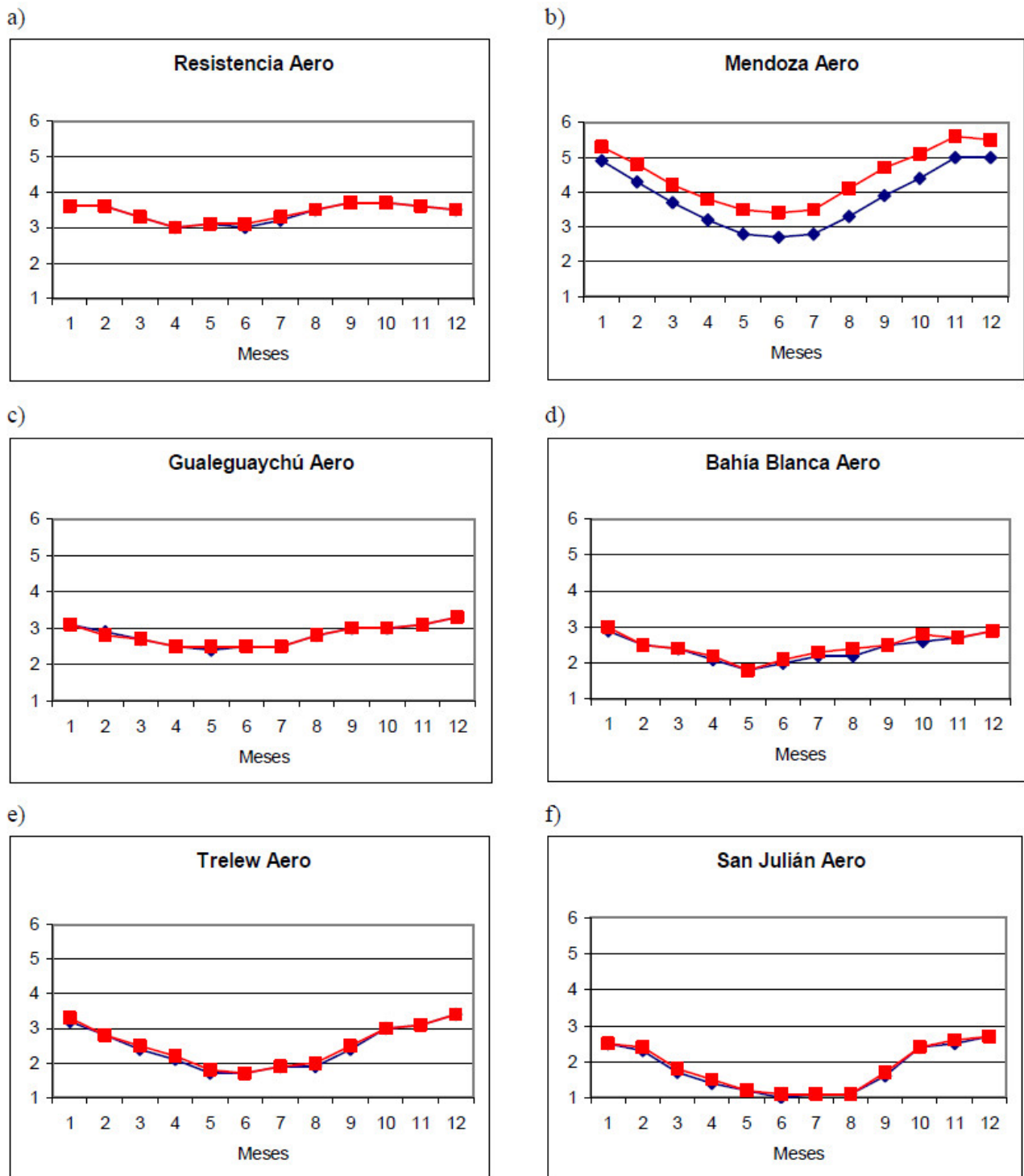


Figura 3: Variación mensual de la diferencia entre el máximo y el mínimo de p_{hm} de ps (azul) en hPa y de p_{hm} de pm (rojo) en hPa para las estaciones meteorológicas: a) Resistencia Aero, b) Mendoza Aero, c) Gualeguaychú Aero, d) Bahía Blanca Aero, f) Trelew Aero y g) San Julián Aero.

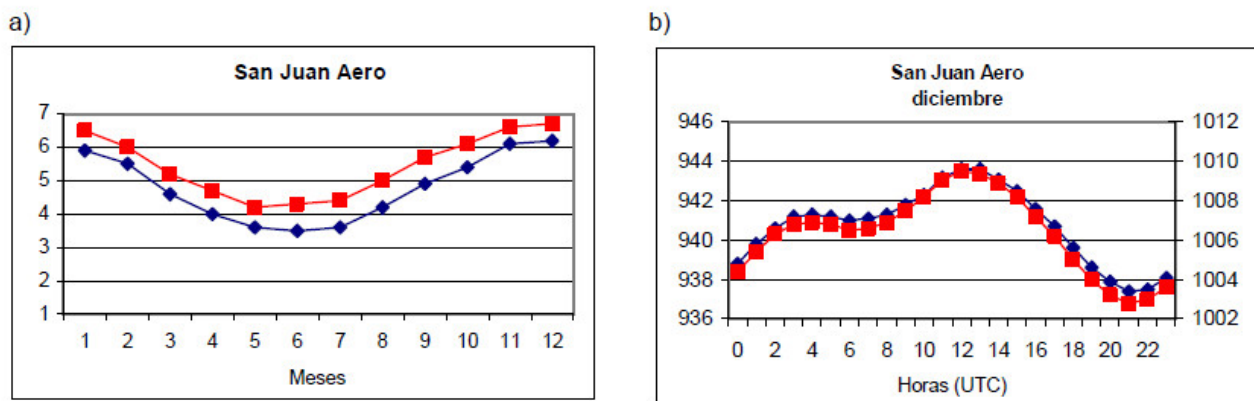


Figura 4: Para la estación meteorológica de San Juan Aero a) Variación mensual de la amplitud de ps y de pm (hPa) y b) Marcha horaria para el mes de diciembre de ps (eje izquierdo, hPa) y pm (eje derecho, hPa). El color azul muestra los resultados de ps y el rojo los de pm.

sea que al igual que en la Región Oeste, el comportamiento medio de la presión en verano tiene un rol relevante en la evolución de los sistemas béricos. Finalmente, si se observa la Figura 5.e y f, en la Región Patagónica, las diferencias entre la amplitud de la onda de presión es de 3 hPa mientras que la DE es de 7,5 hPa para verano e invierno respectivamente, lo cual nos está indicando que la variabilidad diurna de la presión en el período frío se debe principalmente a otros efectos.

Finalmente se analiza la longitud de onda diaria (ld). Para enero en Gualeguaychú (Figura 5c), el mínimo relativo se encuentra a las 06 UTC y el mínimo más profundo a las 21 UTC, con una ld de 15 horas, mientras que en julio dicha longitud se reduce a 10 horas, ya que el mínimo relativo ocurre a las 09 UTC mientras que el mínimo más profundo a las 19 UTC (Fig. 5d). En Trelew (Fig. 5e y f), 10.12° hacia el sur de Gualeguaychú, se mantienen similares variaciones en las longitudes de de la onda diaria a pesar de tener amplitudes distintas. El tercer tipo, representado por Mendoza (Fig. 5a y b), también responde al mismo patrón. Como se comentó previamente, las estaciones de la región oeste, como por ejemplo Mendoza Aero (Fig 5.a y b), muestran diferencias en el comportamiento de phm de ps y pm. Entonces se podría decir que la longitud de la onda diaria de la presión se

relaciona con la marea barométrica mientras que su amplitud estaría modulada por otros efectos tales como la ocurrencia de la baja del noroeste de Argentina (Lichtenstein, 1980, Seluchi y otros, 2003, Ferreira y otros 2010). El desarrollo de dicho sistema de baja presión, su evolución y su ciclo diurno, en especial durante el período estival cuando su presencia es casi permanente, presenta una influencia importante en el campo medio de la presión, en especial en las estaciones de la zona oeste. Como en el presente estudio se utilizó una metodología muy simple para computar la onda diaria media de la presión, la misma no permite aislar distintos efectos los cuales serán estudiados con mayor profundidad en trabajos futuros utilizando metodologías más específicas.

Con el fin de explorar la influencia de la caída de la presión debido a la onda diaria media mensual se examinaron algunas situaciones del tiempo ciclónicas y anticiclónicas.

En la Figura 6.a se muestra la trayectoria del mínimo de presión de un ciclón que se desplazó entre 23 y 25 de agosto del 2005 en la región del Río de la Plata (Possia y otros, 2011). En ella se observa que el mayor descenso de presión en ese ciclón se registró entre las 12 y las 18 UTC del día 23 con una tendencia negativa de 6 hPa en 6 horas (Figura 6, puntos 1 y 2).

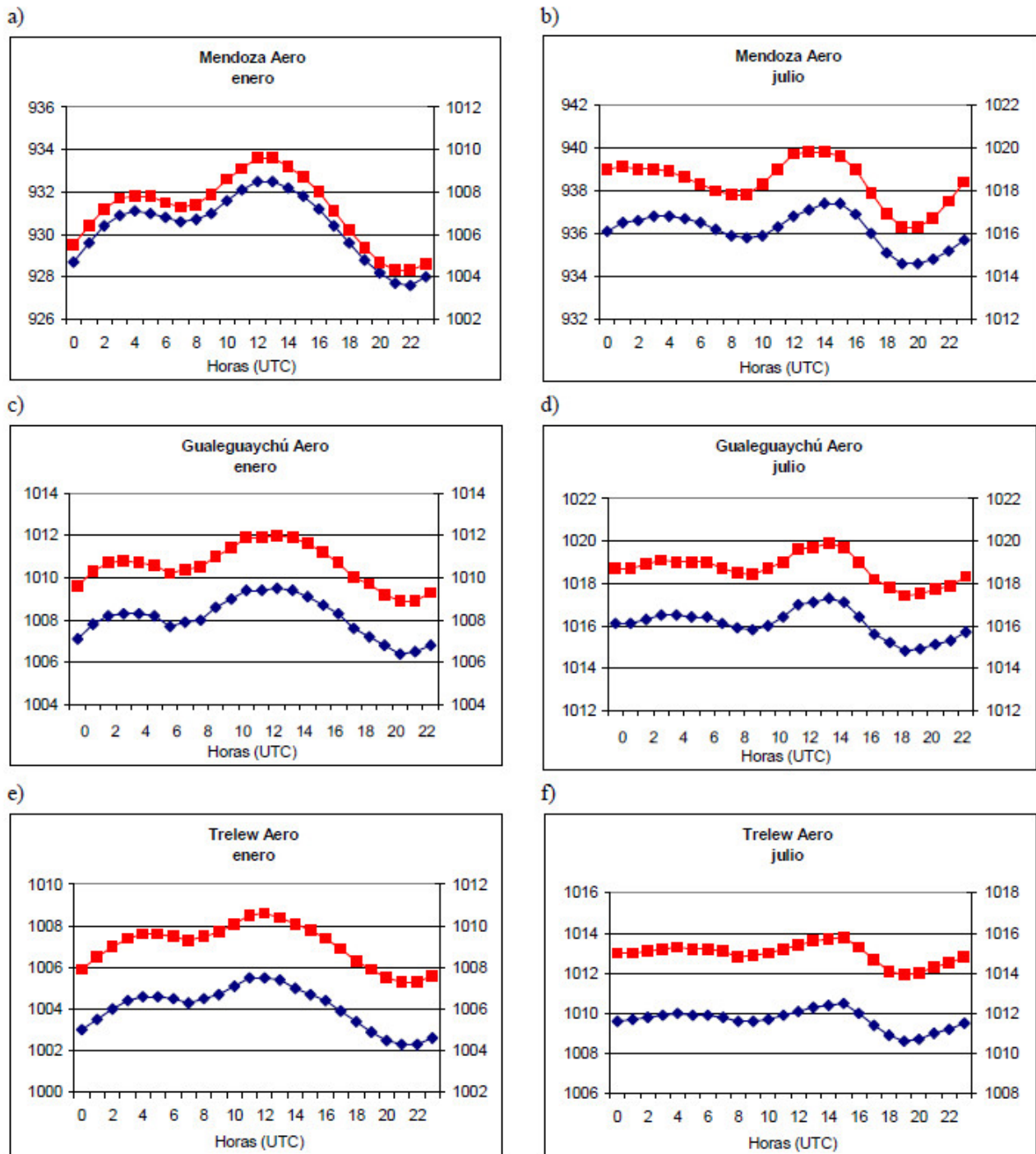


Figura 5: Marcha horaria mensual de la presión de superficie (azul, eje izquierdo) en hPa y de la presión a nivel medio del mar (rojo, eje derecho) en hPa para las estaciones meteorológicas: Mendoza Aero a) enero, b) julio, Guaquaychú Aero c) enero, d) julio y Trelew Aero e) enero, d) julio.

Para analizar el efecto de la variación semidiurna de la presión en la tendencia negativa de dicho ciclón, se computó la presión diaria media para el mes de agosto de la estación meteorológica de Gualeguaychú, por ser la más próxima al centro del sistema (Figura 6.b). En dicha figura puede observarse que la variación de la presión media entre las 12 y las 18 UTC (6 horas) es de -2,1 hPa, lo que significa que la profundidad del ciclón por otros procesos fue de 4 hPa durante ese período. Por lo tanto si se considera el comportamiento medio horario de la presión, este ciclón no califica como explosivo.

El segundo caso presentado corresponde al ciclón que tuvo lugar entre el 15 y 17 de mayo de 2000 en la región del litoral (Possia y otros 2003). La Tabla I muestra la trayectoria del mínimo de presión y la variación de la presión cada 3 horas así como las variaciones trihorarias de phm en Gualeguaychú para el mes de mayo. Se puede observar que entre las 3 y las 6 UTC el ciclón se profundizó 4,2 hPa mientras que phm presentó una variación de sólo -0,4 hPa aportando un 10% a la profundidad del ciclón. Entre las 15 y las 18 UTC del mismo día, la marea aporta -2,1 hPa dando lugar a una variación negativa de medio hectopascal al sistema.

En la Tabla II se presenta la ubicación y las variaciones cuatridiurnas de la presión y de phm en un sistema ciclónico que se desarrolló entre el 8 y 9 octubre de 2011. Claramente se puede apreciar que entre las 12 y 18 UTC del día 8, la presión disminuyó 3,6 hPa en 6 horas mientras que el efecto producido por phm es de -2,5 hPa, o sea que si se considera su efecto, la profundidad debida a los procesos ciclogénéticos fue mucho menor.

Se examinó el aporte de la marea barométrica al ciclón del 22 y 23 junio de 2011. En la Tabla III se observa que la mayor caída de presión en el ciclón ocurrió entre las 12 y 18 UTC del día 23 (-5,3 hPa) y phm aportó -1,8 hPa a dicha profundidad.

| Fecha | Hora (UTC) | Latitud (°) | Longitud (°) | Presión (hPa) | ΔP_s (hPa) | $\Delta_E phm$ (hPa) |
|--------|------------|-------------|--------------|---------------|--------------------|----------------------|
| 15-may | 18 | -29,11 | -59,42 | 999,1 | | |
| 15 | 21 | -29,41 | -57,9 | 997,9 | -1,2 | 0,2 |
| 16-may | 0 | -30,16 | -57,39 | 997,6 | -0,3 | 0,6 |
| 16 | 3 | -30,2 | -57,2 | 998,8 | 1,2 | 0,7 |
| 16 | 6 | -31,4 | -57,9 | 994,6 | -4,2 | -0,4 |
| 16 | 9 | -32,6 | -57,5 | 993,5 | -1,1 | 0 |
| 16 | 12 | -33 | -58,37 | 992,3 | -1,2 | 0,8 |
| 16 | 15 | -32,4 | -58 | 994,5 | 2,2 | 0,2 |
| 16 | 18 | -33 | -58,37 | 994,0 | -0,5 | -2,1 |
| 16 | 21 | -32,4 | -54,2 | 993,6 | -0,4 | 0,2 |
| 17-may | 0 | -31,4 | -57,9 | 997,0 | 3,4 | 0,6 |
| 17 | 3 | -31,4 | -57,9 | 999,0 | 2,0 | 0,7 |

Tabla I: Sistema ciclónico en mayo de 2000: la columna ΔP_s muestra la diferencia de presión en el sistema entre las horas consecutivas indicadas y las posiciones Latitud y Longitud. La columna $\Delta_E phm$ muestra la diferencia para phm de mayo de la estación de Gualeguaychú Aero.

| Fecha | Hora (UTC) | Latitud (°) | Longitud (°) | Presión (hPa) | ΔP_s (hPa) | $\Delta_E phm$ (hPa) |
|--------|------------|-------------|--------------|---------------|--------------------|----------------------|
| 15-may | 18 | -29,11 | -59,42 | 999,1 | | |
| 15 | 21 | -29,41 | -57,9 | 997,9 | -1,2 | 0,2 |
| 16-may | 0 | -30,16 | -57,39 | 997,6 | -0,3 | 0,6 |
| 16 | 3 | -30,2 | -57,2 | 998,8 | 1,2 | 0,7 |
| 16 | 6 | -31,4 | -57,9 | 994,6 | -4,2 | -0,4 |
| 16 | 9 | -32,6 | -57,5 | 993,5 | -1,1 | 0 |
| 16 | 12 | -33 | -58,37 | 992,3 | -1,2 | 0,8 |
| 16 | 15 | -32,4 | -58 | 994,5 | 2,2 | 0,2 |
| 16 | 18 | -33 | -58,37 | 994,0 | -0,5 | -2,1 |
| 16 | 21 | -32,4 | -54,2 | 993,6 | -0,4 | 0,2 |
| 17-may | 0 | -31,4 | -57,9 | 997,0 | 3,4 | 0,6 |
| 17 | 3 | -31,4 | -57,9 | 999,0 | 2,0 | 0,7 |

Tabla II: Sistema ciclónico en octubre 2011: la columna ΔP_s muestra la diferencia de presión en el sistema entre las horas consecutivas indicadas y las posiciones Latitud y Longitud. La columna $\Delta_E phm$ muestra la diferencia para phm de octubre de la estación de Resistencia Aero.

Por último se examinó el efecto de la variación de phm en la trayectoria de un anticiclón que tuvo lugar el 20 y 21 de agosto de 2011 (Tabla IV). Entre las 6 y 12 UTC del día 20 la presión aumentó 2,4 hPa con un aporte de phm de 1,1 hPa, mientras que entre 12 y 18 UTC del mismo

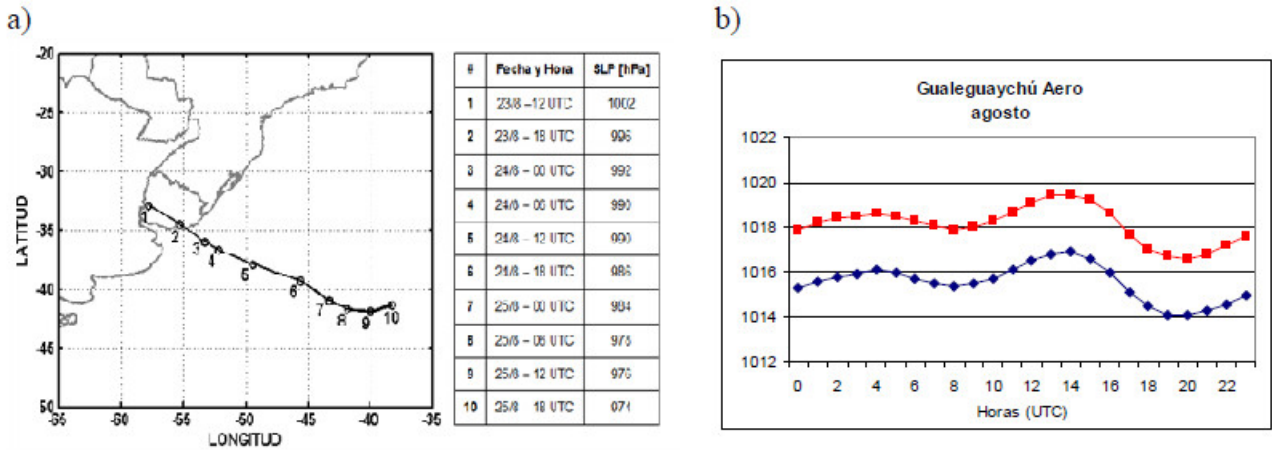


Figura 6: a) Figura 1 de Possia y coautores, 2011: Trayectoria del centro del ciclón entre las 12 UTC de 23 de agosto y las 12 UTC del 25 de agosto de 2005 y b) Marcha horaria media mensual de la presión de superficie (azul) en hPa y de la presión a nivel medio del mar (rojo) en hPa para el mes de agosto en Guaguaychú Aero.

| Fecha | Hora (UTC) | Latitud (°) | Longitud (°) | Presión (hPa) | ΔP_s (hPa) | $\Delta_E phm$ (hPa) |
|--------|------------|-------------|--------------|---------------|--------------------|----------------------|
| 22-jun | 12 | -27,5 | -57,5 | 1013,9 | | |
| 22 | 18 | -27 | -57,5 | 1012,2 | -1,7 | -2,1 |
| 23-jun | 0 | -28,5 | -57 | 1010,8 | -1,4 | 1 |
| 23 | 6 | -32,5 | -57 | 1008,0 | -2,8 | 0 |
| 23 | 12 | -34,5 | -55 | 1007,5 | -0,5 | 0,8 |
| 23 | 18 | -37 | -53,5 | 1002,2 | -5,3 | -1,8 |

Tabla III: Sistema ciclónico en junio 2011: la columna ΔP_s muestra la diferencia de presión en el sistema entre las horas consecutivas indicadas y las posiciones Latitud y Longitud. La columna $\Delta_E phm$ muestra la diferencia para phm de junio de las estaciones de Resistencia Aero (filas 1 y 2) y Gualeguaychú Aero filas (3, 4 y 5).

día, la presión disminuyó - 4,2 hPa y phm lo hizo en -1,5 hPa. Estos valores indican que la oscilación media de la presión aportó casi el 37% al debilitamiento del sistema mientras que entre las 0 y 6 UTC su efecto contribuyó alrededor de un 46% al aumento de la presión.

Durante la génesis de un sistema de presión, la marea barométrica desempeñan un rol importante incrementando o disminuyendo la profundidad del mismo dependiendo de la hora en que ocurra el desarrollo. Por lo tanto,

| Fecha | Hora (UTC) | Latitud (°) | Longitud (°) | Presión (hPa) | ΔP_s (hPa) | $\Delta_E phm$ (hPa) |
|--------|------------|-------------|--------------|---------------|--------------------|----------------------|
| 20-ago | 0 | -39,5 | -71 | 1032,8 | | |
| 20 | 6 | -39 | -70 | 1035,6 | 2,8 | -0,9 |
| 20 | 12 | -39 | -70 | 1038,0 | 2,4 | 1,1 |
| 20 | 18 | -40 | -70 | 1033,8 | -4,2 | -1,5 |
| 21-ago | 0 | -40 | -70 | 1033,5 | -0,3 | 1,3 |
| 21 | 6 | -40 | -71 | 1036,2 | 2,7 | -0,9 |
| 21 | 12 | -40 | -70 | 1035,0 | -1,2 | 1,1 |

Tabla IV: Sistema anticiclónico en agosto 2011: la columna ΔP_s muestra la diferencia de presión en el sistema entre las horas consecutivas indicadas y las posiciones Latitud y Longitud. La columna $\Delta_E phm$ muestra la diferencia para phm de agosto de la estación de Esquel Aero.

esta oscilación debería ser considerada en los pronósticos de los sistemas del tiempo.

4. CONCLUSIONES

El comportamiento horario medio anual de la presión a nivel medio del mar en Argentina presenta los máximos principales entre las 12 y las 14 UTC y los secundarios entre las 3 y las 4 UTC. El mínimo más profundo ocurre ente las 20 y 21 UTC mientras que el menos profundo

ocurre entre las 7 y las 9 UTC. La mayor caída de presión se produce entre las 13 y las 21 UTC y las más importantes variaciones se observan en las estaciones ubicadas en el norte y centro del país (4,3 hPa) disminuyendo hacia latitudes más altas (1,7 hPa). Aunque para un mes particular los valores medios mensuales pueden ser aún mayores (6,7 hPa en San Juan Aero para el mes de diciembre).

La amplitud de la onda de presión es mayor en los meses más cálidos y presenta tres tipos de comportamientos. La región Centro y Este donde la amplitud disminuye con el aumento de la latitud y muestran un ciclo estacional marcado. La región Patagónica con menor amplitud que la región anterior pero con mayor diferencia entre verano e invierno. Y por último la región Oeste, que es la que tiene la más importante amplitud de onda y además la mayor diferencia entre verano e invierno. Los resultados sugieren que es muy relevante el aporte del campo medio en la evolución diaria de la presión en las estaciones de la Región Oeste durante el período estival. Por otro lado, las tres regiones presentan un comportamiento similar en cuanto a la longitud de onda de la presión con una diferencia de 5 horas entre invierno y verano. La longitud se relaciona directamente con la marea barométrica mientras que la amplitud estaría modulada por otros efectos locales.

El efecto de la caída/aumento de la presión debido a la marea barométrica afecta de distinta forma a la profundidad de los sistemas béricos según la hora en que ellos tengan lugar. Este resultado debería ser tenido en cuenta en el momento de definir y caracterizar la profundidad de los ciclones/anticiclones para realizar cualquier estudio y/o pronóstico del tiempo. La importancia del presente estudio radica en que es el primero en que se documenta en la bibliografía local el efecto de la variación semidiurna de la presión, y en especial para algunas estaciones de la región ciclogénica del

litoral.

Agradecimientos: Las autoras agradecen al SMN por facilitar la información meteorológica utilizada y a los revisores por sus sugerencias para enriquecer el trabajo. El presente estudio fue financiado con los proyectos UBACyT: 20020100100434, 20020120100284 y 20020110100122 y ANPCyT: PICT-2010-2110.

REFERENCIAS

- Covey C., A. Dai, D. Marsh y R. Lindzen, 2011. The Surface-Pressure Signature of Atmospheric Tides in Modern Climate Models. *J. Atmos. Sci.*, 28, 495-514.
- Dai, A. y K. E. Trenberth, 2004. The diurnal cycle and its depiction in the Community Climate System Model. *J. Climate*, 17, 930–951.
- Dai A., y J. Wang, 1999. Diurnal and semidiurnal tides in global diurnal pressure fields. *J. of Atmospheric Sciences*. Vol 56. , 3874-3891.
- Ferreira L., C. Saulo y M. Seluchi, 2010. Análisis de la frecuencia de ocurrencia y de la variabilidad estacional de eventos de baja presión en el noroeste argentino. *Meteorologica*, vol 35, nro 1, 17-28
- Gan, M. A. y Rao, V. B., 1991. Surface cyclogenesis over South America. *Mon. Wea. Rev.* 119: 1293–1301.
- Lichtenstein E.R., 1980. La Depresión del Noroeste Argentino. Tesis Doctoral. 133 pp. [Disponible en el Departamento de Ciencias de la Atmosfera, Ciudad Universitaria (1428)]
- Lindzen R. y S. Chapman, 1970. Atmospheric Tides. D. Reidel 200 pag
- Mendes, D., E. Souza, I. Trigo y P. Miranda, 2007. On precursors of South American cyclogenesis. *Tellus*, 59A, 114–121.
- Necco, G., 1982. Comportamiento de vórtices ciclónicos en el área sudamericana durante el FGGE: Trayectorias y desarrollos. *Meteorologica*, 13, 21–34.
- Newton, I., 1687. *Philosophiae Natural & Principia Mathematica*, (a) Bk. 1, Prop. 66,

- Cor. 19, 20; Bk. 3, Prop. 24, 36, 37, (b) Bk. 2, Prop. 48-50.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 1966. Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos Nro 8. 6ta edición.
- Possia, N., B. Cerne y C. Campetella, 2003. A Diagnostic Analysis of the Río de la Plata Superstorm of May 2000. *Meteorological Applications*.10, 1, pág. 87-99.
- Possia, N. E., 2004. Estudio de los ciclones explosivos sobre la región sur de Sudamérica. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires.
- Possia, N, L.Vidal y C. Campetella, 2011. Un temporal de viento en el Río de la Plata. 2009 *Revista Meteorologica* 36 (2), 95-110. ISSN 1850-468X
- Roger, E. y L. F. Bosart, 1986. An Investigation of Explosively Deepening Oceanic Cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 114, 702 – 718.
- 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.
- Sanders, F. & Gyakum, J. R., 1980. Synoptic-dynamic climatology of the ‘bomb’. *Mon. Wea. Rev.* 108: 194–201.
- Wallace J. y Hobbs P,2006. *Atmospheric Science, An Introductory Survey. INTERNATIONAL GEOPHYSICS SERIES*, Vol 92, Second edition. Academic Press is an imprint of Elsevier. 478 págs.
- Woolnough, S. J., J. M. Slingo, and B. J. Hoskins, 2004. The diurnal cycle of convection and atmospheric tides in an aquaplanet GCM. *J. Atmos. Sci.*, 61, 2559–2573.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo la licencia Creative Commons, que permite el uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.