

## Detección y estudio de las perturbaciones generadas en la atmósfera por los eventos “El Niño Benguela”

Patricia del Valle Repossi<sup>1</sup> y Pablo Osvaldo Canziani<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> PEPACG, Pontificia Universidad Católica Argentina, Buenos Aires, Argentina.

<sup>2</sup> CONICET, Buenos Aires, Argentina.

(Recibido: 30-Mar-2009. Publicado: 12-May-2009)

### Resumen

Los Niños Benguela son eventos cálidos, intermitentes y extremos que afectan la costa oeste de África. A diferencia de su homónimo del océano Pacífico (ENSO), la información disponible sobre las modificaciones introducidas en la atmósfera por estos eventos es muy limitada. El presente trabajo muestra perturbaciones abruptas generadas en la atmósfera por los eventos el Niño Benguela ocurridos en los últimos 30 años, detectadas mediante la aplicación del método de Yamamoto a series de promedios mensuales de anomalías de geopotencial para los océanos. Los resultados obtenidos a partir de este análisis permiten relacionar las fechas en que ocurrieron anomalías de la temperatura superficial del mar debidas a Niños Benguela con los meses en que se observan perturbaciones abruptas sobre el Atlántico tropical tanto en la tropósfera como en la baja estratosfera. La detección de perturbaciones sobre el Pacífico tropical demuestra la existencia de teleconexiones, las cuales no se observaron sobre el océano Índico.

**Palabras clave:** Niño Benguela, temperatura superficial del mar, Atlántico tropical, teleconexiones.

### Abstract

*The Benguela Niño are extreme events, usually warm and intermittent. They affect the west coast of Africa. Unlike its homonymous of the Pacific ocean (ENSO), the available information about the modifications introduced in the atmosphere by these events is scarcely known. This contribution shows the abrupt perturbations generated in the atmosphere by the events El Niño Benguela during the last 30 years, detected by means of the application of Yamamoto's method to monthly zonal geopotencial means. The results show a preliminary correspondence between the dates in which sea surface temperature behaviour changes due to the Benguela Niños, with those months in which strong perturbations over the troposphere and low stratosphere of the tropical Atlantic were detected. Particularly, the perturbations observed over the tropical Pacific show the presence of teleconnections, which were not observed over the Indian ocean.*

**Key words:** Niño Benguela, sea surface temperature, tropical Atlantic, teleconnections.

### 1. Introducción

Los Niños Benguela pueden ser definidos como eventos extremos, que se caracterizan por ser cálidos e intermitentes. Generalmente se desarrollan en el límite entre la Corriente de Angola y el llamado sistema de upwelling Benguela en el sudoeste de África. Su influencia se aprecia especialmente en las costas de Angola y Namibia (Shannon *et al.*, 1986; Florenchie *et al.*, 2004 y Reason *et al.*, 2006). Estos eventos han sido observados en 1934, 1949, 1963, 1984 y 1995 (Florenchie *et al.*, 2003), y de su estudio se desprende que el origen de los mismos se produce en el centro-oeste ecuatorial del Atlántico, desde donde se propagan en forma de anomalías positivas de temperatura sub-superficiales, las cuales eventualmente afloran cuando alcanzan la costa sudoeste africana.

La mayoría de los análisis realizados y trabajos publicados en la literatura más reciente se concentra en la evolución oceánica de este fenómeno así como en sus consecuencias sobre el ecosistema marino (Boyer *et al.*, 2001; Boyer y Hampton, 2001; Reason *et al.*, 2006). Sin embargo, el conocimiento que se tiene sobre los efectos de este fenómeno en la atmósfera es escaso. En este sentido, es posible encontrar algunos registros climáticos del Niño Benguela, los cuales muestran que durante el desarrollo de uno de estos eventos es posible apreciar cambios en la atmósfera en las costas de Namibia. Estos efectos se traducen particularmente en las velocidades de los vientos, las cuales son inusualmente bajas entre enero y marzo, y en las lluvias extremadamente intensas (Attwood, 2006). Sin embargo el conocimiento sobre el efecto de estos eventos en alturas mayores es virtualmente nulo.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del Niño Benguela sobre la atmósfera media y baja situada sobre el océano Atlántico, como así también las teleconexiones con los océanos Pacífico e Índico por medio de la aplicación del método de Yamamoto modificado.

## 2. Datos y metodología

El método de Yamamoto fue originalmente creado para ser aplicado a series que contienen promedios anuales de diversas variables meteorológicas tales como temperatura, presión, geopotencial, etc. Habitualmente el método es utilizado para la detección de saltos climáticos (Yamamoto *et al.*, 1986; Yasunaka y Hanawa, 2002; Minetti *et al.*, 2003). En forma sucinta, el método propone que cuando el promedio temporal calculado antes de una determinada fecha de referencia difiere con suficiente significancia estadística del promedio temporal después de esa fecha, se puede asumir la existencia de una discontinuidad en el promedio, dentro del límite de confianza especificado. Matemáticamente, el método propone que, dada una fecha arbitraria denominada fecha de referencia, se pueden definir los siguientes promedios:  $Y_a$  = promedio temporal calculado sobre un determinado período de tiempo antes de la fecha de referencia y  $C_a$  su límite de confianza del 95 %,  $Y_d$  = promedio temporal calculado sobre un determinado período de tiempo después de la fecha de referencia y  $C_d$  su límite de confianza del 95 %. En función de  $Y_a$  y  $Y_d$ , se define el cociente señal-ruido ( $S/N$ ) para la fecha de referencia como:

$$S/N = |Y_d - Y_a| / (C_d - C_a)$$

Si se desplaza secuencialmente la fecha de referencia sobre todo el período de datos disponibles, se obtiene una serie de valores de  $S/N$ . Cuando el cociente  $S/N$  es mayor que 1, se asume que una perturbación abrupta es detectada. Si hubiera varias fechas consecutivas cuyos valores cumplieran esta condición, entonces se considera que el de mayor valor corresponde a la fecha de la perturbación. Si por el contrario, todos los valores del cociente  $S/N$  fueran menores que 1, se entiende que no se detecta ningún salto.

Sin embargo, si el método es aplicado a series de promedios mensuales de anomalías en lugar de aplicarlo directamente a variables atmosféricas promediadas, es posible detectar perturbaciones abruptas en la atmósfera y, por lo tanto, es posible también analizar la evolución espacio-temporal de las mismas, tal como se describe en Repossi y Canziani (2009). Al aplicar el método de Yamamoto a series que contienen promedios mensuales, es posible determinar el mes para el cual ocurrió una modificación abrupta en la atmósfera. Cada modificación abrupta detectada puede ser definida como una singularidad a la cual se le asignó un “periodo de confianza” (PC) definido como la correspondiente banda de error.

Para llevar a cabo esta adaptación del método de Yamamoto a las anomalías se utilizaron valores diarios de geopotencial para el período 1973-2002, correspondientes a niveles de presión de 850, 500, 300, 150, 100, 70, 50 y 30 hPa. Estos valores de reanálisis, distribuidos globalmente en una grilla de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$  latitud-longitud, fueron obtenidos del *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) 40-year reanalysis products (ERA-40)* a través de la página de internet <http://data.ecmwf.int/data/>. La elección del ERA-40 se debió principalmente a su alta resolución comparada con otros productos de reanálisis (Bromwich y Fogt 2004).

A partir de los valores de geopotencial se construyeron series de anomalías de geopotencial mensuales, las cuales fueron promediadas por océanos. Para ello en primer lugar se calculó el promedio diario de anomalía sobre una determinada cuenca oceánica y luego, utilizando estos valores, se calculó el promedio mensual. Para el desarrollo del presente trabajo se consideraron las cuencas de los océanos Atlántico ( $35^{\circ}\text{O}-10^{\circ}\text{E}$ ), Pacífico ( $180-80^{\circ}\text{O}$ ), e Índico ( $50-100^{\circ}\text{E}$ ).

Una vez calculados los promedios mensuales y detectadas las singularidades, se estudió la evolución del geopotencial para meses posteriores al correspondiente a cada singularidad detectada. Los resultados muestran en forma gráfica las perturbaciones registradas para distintos niveles de la atmósfera y latitud. Cada singularidad tiene asociada una flecha ascendente (descendente) para aquellos casos en los cuales el geopotencial aumentó (disminuyó) luego de la ocurrencia de la perturbación.

### 3. Resultados

Los resultados de la aplicación del método de Yamamoto fueron aplicados a dos eventos del Niño Benguela transcurridos durante el período 1973-2002: el primero entre enero y junio de 1984, y el segundo durante la primera mitad de 1995 (Florenchie *et al.*, 2003).

La figura 1a muestra las singularidades detectadas en 1984 por el método de Yamamoto modificado sobre la cuenca del océano Atlántico. En la figura es posible observar una perturbación abrupta cuya presencia afectó tanto a la tropósfera como a la baja estratosfera (entre 850 y 150 hPa) en latitudes tropicales y subtropicales, localizadas al norte de  $35^{\circ}\text{S}$  durante el mes de abril (PC: Marzo-Junio), mayo (PC: Marzo-Julio), junio (PC: Abril-Julio) y julio de 1984 (PC: Mayo-Agosto).

Los resultados de la bibliografía más reciente indican que tal incremento de la temperatura superficial del mar (SST) en la costa sudoeste de África comenzó en Enero de 1984, y que la fase madura del Niño Benguela, época en la cual se aprecia una mayor anomalía de SST sobre el área del golfo de Benguela, ocurrió entre marzo y abril de ese año (Florenchie *et al.*, 2003). Los resultados mostrados en la figura 1 permiten apreciar que la perturbación fue detectada durante esta fase, lo cual sugiere que durante esta etapa es cuando el Niño Benguela afecta en forma más abrupta a las capas más bajas de la atmósfera. Aunque la señal de la perturbación se observó primero en la tropósfera y luego en la tropopausa y baja estratosfera, la superposición parcial de los períodos de confianza de las fechas para las cuales se detectaron las singularidades hace que éstas resulten indistinguibles entre sí. Por lo tanto no es posible determinar con precisión la evolución espacio-temporal de la perturbación.

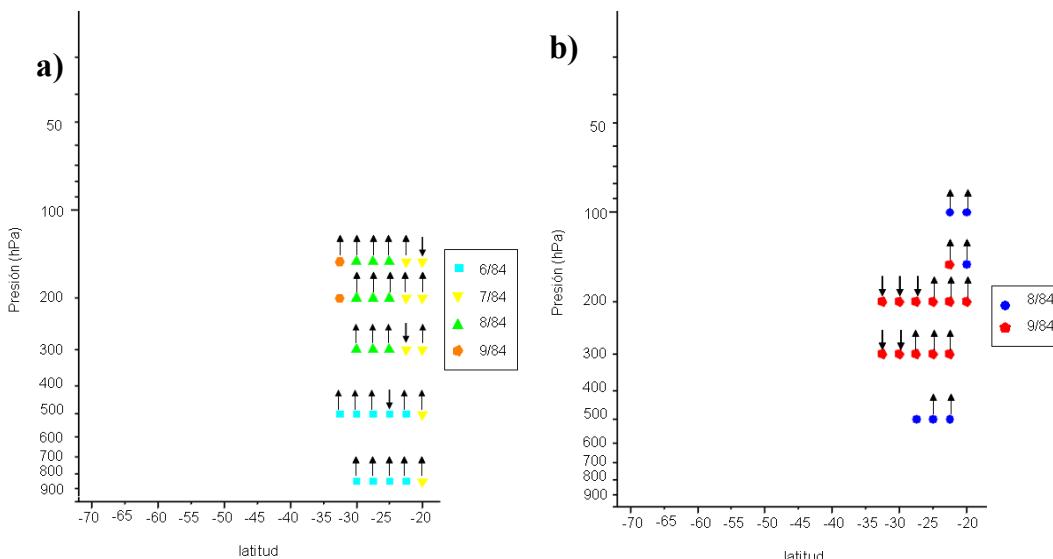


Fig. 1: Evolución en altura de la singularidad detectada durante 1984 en las cuencas de los océanos Atlántico (a) y Pacífico (b).

También a partir de la figura 1a es posible apreciar que el geopotencial aumenta en latitudes tropicales y subtropicales luego de ocurrida la perturbación, para la mayoría de las singularidades detectadas. Esto indica que como consecuencia del Niño Benguela se produce un movimiento ascendente de masas de aire. De los resultados hallados en la bibliografía relacionada, es posible rescatar comportamientos análogos a los previamente descriptos, pero correspondientes a eventos “El Niño Atlántico”, los cuales se originan a partir de incrementos periódicos de la SST en el Atlántico ecuatorial y se desarrollan durante el invierno austral (Hisard, 1980; Merle, 1980; Carton y Huang, 1994; Ruiz-Barradas *et al.*, 2000). A partir de resultados recientes obtenidos por Polo *et al.* (2008) es posible relacionar estos eventos entre sí, ya que los autores muestran que El Niño del Atlántico se origina en la región de upwelling Angola/Benguela, lo cual indica una conexión con El Niño Benguela.

Los resultados mostrados en la figura 1 son los primeros resultados relacionados con la perturbaciones introducidas en la atmósfera por El Niño Benguela. La figura 1b muestra los resultados sobre la cuenca del océano Pacífico. De la inspección de la misma se aprecian singularidades detectadas al norte de 35°S, en la alta tropósfera tropical y baja estratosfera (entre 500 y 100 hPa) durante agosto (PC: Junio-Octubre) y septiembre de 1984 (PC: Agosto-Diciembre). Análogamente a lo observado sobre la cuenca del océano Atlántico, los correspondientes períodos de confianza se superponen, por lo cual las fechas resultan estadísticamente indistinguibles. Es destacable la no detección de la perturbación para niveles de presión mayores a 500 hPa. En la figura 1b también es posible observar que, luego de la ocurrencia de la perturbación, el geopotencial se incrementa para latitudes menores que 25°S, mientras que decrece para las localizadas al sur de esta latitud.

La indistinguibilidad de las fechas en que se observa la perturbación abrupta en la tropopausa y alta tropósfera en ambas cuencas oceánicas sugiere la existencia de un puente atmosférico que sería el responsable de una teleconexión entre el océano Atlántico y el Pacífico tropical. Respecto al océano Índico, no se observaron singularidades.

Trabajos recientes han mostrado que existen teleconexiones entre el Atlántico y el Pacífico ecuatorial, las cuales tienen origen en el océano Atlántico. Polo *et al.* (2008) y Rodríguez-Fonseca *et al.* (2009) muestran que El Niño del Atlántico es capaz de alterar la dinámica del Pacífico este y central mediante una circulación anómala de Walker, favoreciendo la ocurrencia de un evento la Niña durante el siguiente verano austral. Dado que El Niño del Atlántico tiene su origen en El Niño Benguela (Polo *et al.*, 2008), los resultados aquí obtenidos añaden evidencia de la existencia de dicha conexión remota que está siendo estudiando en la actualidad pero con técnicas diferentes.

Datos procedentes del servicio meteorológico sudafricano revelan que durante 1995 hubo otro evento Benguela (Gammelsrød *et al.*, 1998). Durante ese año, se detectaron singularidades sobre las tres cuencas oceánicas, las cuales se muestran en la figura 2.

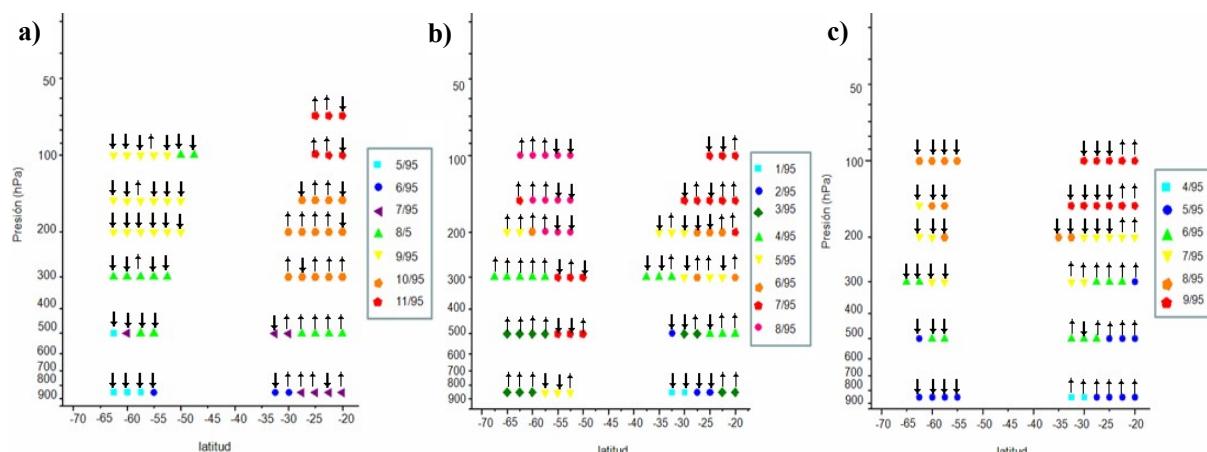


Fig. 2: Evolución en altura de las singularidades detectadas durante 1995 en las cuencas de los océanos Atlántico (a), Pacífico (b) e Índico (c).

En la cuenca del Atlántico, se observó una perturbación en la tropósfera de latitudes tropicales y subtropicales en junio (PC: Abril-Julio), julio (PC: Abril-Agosto), y agosto (PC: Junio-Septiembre de 1995) y en la estratosfera durante octubre (PC: Agosto-Diciembre de 1995) y noviembre (PC: Septiembre de 1995-Febrero de 1996). Las fechas en que se detectó la singularidad en la tropósfera baja son claramente distinguibles de las detectadas en la estratosfera, lo cual corrobora el sentido ascendente de la perturbación observada en la Figura 2a.

No obstante, Gammelsrød *et al.* (1998) a partir de su análisis muestran que el máximo de anomalías de SST en la costa oeste de África ocurrió entre marzo y abril de 1995, mientras que los resultados mostrados en la figura 2a sugieren que la perturbación ocurrió entre junio y agosto del mismo año en la troposfera. En base a esta información se puede considerar que en el caso de este evento en particular, la perturbación detectada podría ser considerada como una respuesta tardía al máximo de SST sobre esta cuenca, por lo que el efecto del Niño Benguela sería diferente en ambos casos (1984 y 1995).

A diferencia de lo observado para 1984, esta singularidad se detectó también en latitudes altas. En la figura 2a se observa el efecto de una perturbación abrupta sobre la tropósfera polar entre mayo (PC: Marzo-Junio) y agosto de 1995; y sobre la estratosfera durante septiembre (PC: Agosto-Octubre). Luego de considerar los PC, se corroboró la tendencia ascendente de la perturbación observada en la figura.

En 850 hPa la perturbación se detectó en latitudes polares durante mayo y junio, y en latitudes tropicales y subtropicales entre junio y julio. La superposición parcial de los correspondientes PC hace que estas fechas resulten indistinguibles.

Sin embargo, entre marzo de 1994 y junio de 1995 se desarrolló un evento cálido del ENSO (del inglés: El Niño-Southern Oscillation), homónimo del Niño Benguela en el Pacífico tropical con una intensidad mucho mayor (Harrison y Larkin, 1998; Diaz y Markgraf, 2000; McPhaden *et al.*, 2006) y cuya fase madura ocurrió entre septiembre de 1994 y enero de 1995. Estudios recientes muestran que la teleconexión del ENSO con el Atlántico tropical ocurre varios meses después del máximo de SST en el Pacífico tropical (Kiladis y Diaz, 1989; Yuan, 2004, Brönnimann, 2007), lo cual indicaría que las singularidades detectadas sobre el Atlántico durante 1995 estarían relacionadas principalmente con la teleconexión entre esta cuenca y la del Pacífico debido al evento ENSO que se desarrolló entre 1994 y 1995.

Esta hipótesis se corrobora cuando se analizan las fechas en que se detectaron singularidades sobre el Pacífico tropical/subtropical. En la figura 2b se observa que la perturbación se detectó en la tropósfera durante enero (PC: Noviembre de 1994-Marzo de 1995), febrero (PC: Enero-Marzo de 1995), marzo (PC: Enero-Abril de 1995), abril (PC: Febrero-Mayo de 1995), mayo (PC: Marzo-Junio de 1995) y junio de 1995 (PC: Abril-Agosto de 1995), y en la estratosfera entre mayo y julio de 1995. Es decir, la perturbación se observó en la tropósfera tropical durante la fase madura del ENSO que se desarrollaba en ese año (Tremberth y Hoar, 1996). La propagación ascendente de la perturbación observada en la figura puede encontrar su fundamento estadístico si consideramos que los PC de la singularidad detectada a comienzos de 1995 en la tropósfera no se superponen con los correspondientes a la señal observada a mediados de 1995 en la estratosfera. Esta evolución en altura es característica de los eventos cálidos de ENSO (García-Herrera *et al.*, 2006; Reid *et al.*, 1989; Calvo *et al.*, 2004, Repossi y Canziani, 2009), lo cual también permite reafirmar que la perturbación detectada durante 1995 está fuertemente relacionada con el ENSO.

En la Figura 2b se observa que el geopotencial aumentó en latitudes tropicales situadas en cercanías de 20°S y en las ubicadas al sur de 60°S, mientras que disminuyó para las latitudes comprendidas entre 25-35°S, y 52,5-57,5°S. Esta evolución está relacionada con las anomalías de SST en la época en que se detectó la singularidad (a fines del evento cálido del ENSO). En esta etapa de maduración, las anomalías positivas en el Pacífico tropical se debilitan y restringen a latitudes próximas al Ecuador, enfriándose las aguas en el Pacífico subtropical (García-Herrera *et al.*, 2006; Brönnimann, 2007). En latitudes polares, se observa todavía una anomalía positiva de SST, pero ésta se concentra en latitudes alrededor de 60°S. El geopotencial aumentó (disminuyó) en latitudes donde la SST es positiva (negativa).

En lo que se refiere a la cuenca del océano Índico, la singularidad se detectó en la tropósfera tropical/subtropical durante abril (PC: Febrero-Junio), mayo (PC: Marzo-Junio), junio (PC: Mayo-Septiembre) y julio de 1995 (PC: Junio-Agosto) (figura 2c), y en la estratosfera entre julio y septiembre. Los PC de agosto y septiembre están acotados entre Junio-Octubre y Julio-Octubre respectivamente. Los períodos de confianza de las fechas en que se detectó la singularidad en la tropósfera y en la estratosfera no se superponen, por lo cual esas fechas resultan distinguibles y se comprueba la evolución ascendente de la perturbación. Esta evolución está de acuerdo con estudios realizados por otros autores respecto a la propagación de las teleconexiones originadas por ENSO en esta cuenca (Webster *et al.*, 1999; Saji *et al.*, 1999; Kug *et al.*, 2006). En ellos se observó que durante estos eventos se apreciaba un incremento de temperatura tanto en la tropósfera como en la estratosfera, y que ese aumento se podía apreciar en mayores alturas a medida que el evento evoluciona.

En latitudes subpolares y polares, la singularidad se observó en la tropósfera entre mayo y julio de 1995, mientras que en la estratosfera se la detectó entre julio y agosto. Los PC de estas fechas se superponen parcialmente, por lo que resultan indistinguibles y no se puede establecer el sentido de la propagación.

La figura 2c muestra que el geopotencial aumentó en latitudes tropicales mientras que en latitudes altas disminuyó. Análogamente a lo observado para otras cuencas, esta evolución está relacionada con las anomalías de SST que existen debido a teleconexiones con el Pacífico tropical. Durante el final del evento, la SST en el océano Índico tropical se debilita, pero sigue siendo positiva, lo cual se refleja en el aumento de geopotencial luego de la detección en esa área. Análogamente, se mantiene la anomalía negativa en latitudes polares, por lo cual en estas latitudes disminuye el geopotencial (Saji *et al.*, 1999; Kug *et al.*, 2006).

#### 4. Síntesis y conclusiones

El presente trabajo muestra los primeros resultados que se conocen sobre el efecto del Niño Benguela sobre la atmósfera y las posibles teleconexiones.

Durante los eventos El Niño Benguela ocurren aumentos de la temperatura superficial del mar en áreas costeras del Atlántico tropical sobre el norte de Benguela, como así también elevación del nivel del mar e incremento de lluvias sobre el continente africano (Shannon *et al.*, 1986; Gammelsrød *et al.*, 1998; Rouault *et al.*, 2003). Los estudios relacionados con estos eventos se concentran principalmente en la evolución de las corrientes oceánicas, debido a que cambios en ellas y en la temperatura del mar influencian la biosfera del área. Como consecuencia, se genera mortalidad de algunas especies de peces, y migración de otras especies hacia zonas menos cálidas, lo cual trae aparejadas importantes consecuencias económicas (Gammelsrød *et al.*, 1998).

En este trabajo se estudió el efecto de este fenómeno sobre la atmósfera utilizando un método que se diseñó para ser aplicado sobre promedios anuales, y que permite la detección de variaciones abruptas de variables meteorológicas generadas por saltos climáticos. Al trabajar con anomalías de promedios mensuales se puede estudiar la evolución mes a mes, minimizando los efectos que pudieran detectarse de las variaciones estacionales de geopotencial (ciclo anual). Por lo tanto, cada singularidad observada al aplicar el método de Yamamoto corresponde realmente a un cambio brusco en la atmósfera durante un mes en particular.

La perturbación detectada durante 1984 es completamente diferente a la observada en 1995. Esto se debe a que en 1984 solo existía sobre la atmósfera la influencia de El Niño Benguela, ya que ni en esa época ni en meses previos se desarrolló un evento del ENSO que pudiera, mediante teleconexiones, generar perturbaciones abruptas sobre el océano Atlántico. Es por esto que se puede considerar que las singularidades detectadas durante 1984 se relacionan exclusivamente con El Niño Benguela. En 1995, en cambio, las singularidades detectadas en las 3 cuencas oceánicas se corresponden con los resultados hallados en la bibliografía sobre las fechas en que se desarrolló el evento El Niño, así como las áreas y fechas en que las teleconexiones introducen cambios abruptos sobre estas cuencas oceánicas tanto

en latitudes bajas como altas. Por lo tanto, dada la intensidad de este evento, cualquier perturbación introducida por el Niño Benguela sería mucho más débil que la generada por el ENSO, y por ende, indetectable.

Dado que la perturbación detectada en 1984 es atribuible a El Niño Benguela, y que en esa época no ocurrieron otros fenómenos meteorológicos importantes, los resultados mostrados en la figura 1 indican que este evento influyó sobre la tropósfera y baja estratosfera del Atlántico tropical/subtropical en forma de perturbación abrupta, no habiendo teleconexiones con altas latitudes (como ocurre con el ENSO) salvo con el Pacífico tropical, afectando principalmente la troposfera media y alta. Esta conexión remota se condice con resultados recientes obtenidos a partir estudios realizados en las teleconexiones entre el Atlántico y el Pacífico ecuatorial originadas por El Niño del Atlántico, cuyo origen se produce a partir de El Niño Benguela.

La evolución del geopotencial observada después de la perturbación claramente se muestra ascendente para perturbaciones detectadas entre 20 y 35°S en la cuenca del océano Atlántico (figura 1a). Este hecho está relacionado con la anomalía positiva de SST en la época en que se detectó la señal en la tropósfera, ya que ante un aumento de temperatura, la presión disminuye y consecuentemente aumenta el geopotencial.

La respuesta sobre el Pacífico no aparece tan clara y está acotada a rangos de altura entre la tropósfera media y la estratosfera inferior.

## Bibliografía

- Attwood C (2006): Taking a close look at the Angola Benguela Front. *Maritime Southern Africa*, May/June.
- Boyer DC, Hampton I (2001): An overview of the living marine resources of Namibia. *South African Journal of Marine Science*, 23:5-35.
- Boyer DC, Boyer HJ, Fossen I, Kreiner A (2001): Changes in abundance of the northern Benguela sardine stock during the decade 1990-2000, with comments on the relative importance of fishing and the environment. *South African Journal of Marine Science*, 23:76-84.
- Bromwich DH, Fogt RL (2004): Strong trends in the skill of the ERA 40 and NCEP-NCAR reanalysis in the high and middle latitudes of the Southern Hemisphere, 1958-2001. *Journal of Climate*, 17:4603-4619.
- Brönnimann S (2007): The impact of El Niño/Southern Oscillation on European climate. *Reviews of Geophysics*, 45:3003-3028.
- Calvo N, García R, García-Herrera R, Gallego D, Gimeno L, Hernández E, Rivera P (2004): Análisis de la señal ENSO en temperaturas troposféricas y estratosféricas observadas por MSU, 1979-2000. *Journal of Climate*, 17:3934-3946.
- Carton JA, Huang B (1994): Warm events in the Tropical Atlantic. *J. Phys. Oceanogr.*, 24:888-903.
- Díaz HF, Markgraf V (2000): *El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*. Cambridge University Press.
- Florenchie P, Lutjeharms JRE, Reason CJC (2003): The source of Benguela Niños in the South Atlantic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 30:1505, doi:10.1029/2003GL017172.
- Florenchie P, Reason CJC, Lutjeharms JRE, Rouault M, ROY C, Masson S (2004): Evolution of Inter-annual Warm and Cold Events in the Southeast Atlantic Ocean. *Journal of Climate*, 17:2317-2334.
- Gammelsrød T, Bartholomae CH, Boyer DC, Filipe VLL, O'Toole MJ (1998): Intrusion of warm surface water along the Angolan-Namibian coast in February-March 1995: The 1995 Benguela Niño. *South African Journal of Marine Science*, 19:41-56.

- García-Herrera R, Calvo N, García RR, Giorgetta MA (2006): Propagation of ENSO temperature signals into the middle atmosphere: A comparison of two general circulation models and ERA-40 reanalysis data. *Journal of Geophysical Research*, 111:D06101, doi:10.1029/2005JD006061.
- Harrison DE, Larkin NK (1998): El Niño-Southern Oscillation sea surface temperature and wind anomalies, 1946-1993. *Review of Geophysics*, 36:353-399.
- Hisard P (1980): Observation de reponses de type “El Niño” dans l’Atlantique tropical oriental, Golfe de Guinéé. *Oceanol. Act.*, 3:69-78.
- Kiladis GN, Diaz HF (1989): Global climatic anomalies associated with extremes in the Southern Oscillation. *J. Climate*, 2:1069-1090.
- Kug JS, Li T, An SI, Kang IS, Luo JJ, Masson S, Yamagata T (2006): Role of the ENSO-Indian Ocean Coupling on ENSO variability in a coupled GCM. *Geophysical Research Letter*, 33, doi:10.1029/2005GL024916.
- McPhaden JM, Zhang X, Henden H, Wheeler C (2006): Large scale dynamics and MJO forcing of ENSO variability. *Geophysical Research Letters*, 33:LI6702, doi:10.1029/2006GL026786.
- Merle J (1980): Variabilité thermique annuelle et interannuelle de l’océan Atlantique équatorial Est. L’hypothèse d’un “El Niño” Atlantique. *Oceanol. Acta*, 3:209-220.
- Minetti JL, Vargas WM, Poblete AG, Acuña LR, Casagrande G (2003): Non-linear trends and low frequency oscillations in annual precipitation over Argentina and Chile, 1931-1999. *Atmósfera*, 16:119-135.
- Polo I, Rodríguez-Fonseca B, Losada T, García-Serrano J (2008): Tropical Atlantic Variability Modes (1979-2002). Part I: Time-Evolving SST Modes Related to West African Rainfall. *Journal of Climate*, 21:6457-6475.
- Reason CJC, Florenchie P, Rouault M, Veitch J (2006): Influences of large scale climate modes and Agulhas system variability on the BCLME region. In *Benguela: Predicting a Large Marine Ecosystem* (Shannon V, Hempel G, Moloney C, Woods J, Malanotte-Rizzoli P, Eds.), Elsevier, 400 pp.
- Reid GC, Gage KS, McAfee JR (1989): The thermal response of the tropical atmosphere to variations in equatorial Pacific sea surface temperature. *Geophysical Research Letters*, 29:1494-1505.
- Repossi PV, Canziani PO (2009): Interannual and interdecadal climatic variability over the Southern Hemisphere geopotential height: an analysis of climatic inhomogeneities. 1. Methodology and Zonal mean anomaly analysis. (Enviado al *International Journal of Climatology*).
- Rodríguez-Fonseca B, Polo I, García-Serrano J, Losada T, Mohino E, Mechoso R, Kucharski F (2009): Atmospheric Bridge in the recent connection between Atlantic and Pacific Niños. *Geophysical Research Abstracts*, 11:EGU2009-9370, EGU General Assembly.
- Rouault M, Florenchie P, Faucherau N, Reason CJC, (2003): South East tropical Atlantic warm events and southern African rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, 30:8009.
- Ruiz-Barradas A, Carton JA, Nigam S (2000): Structure of interannual-to-decadal climate variability in the tropical Atlantic sector. *Journal of Climate*, 13:3285-3297.
- Saji NH, Goswami BN, Vinayachandran PN, Yamagata T (1999): A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 401:360-363.
- Shannon LV, Boyd AJ, Brundrit GB, Taunton-Clark J (1986): On the existence of an El Niño-type phenomenon in the Benguela system. *Journal of Marine Research*, 44:495-520.
- Tremberth KE, Hoar TJ (1996): The 1990-1995 El Niño-Southern Oscillation event: longest on record. *Geophysical Research Letters*, 23:57-60.

- Webster PJ, Moore AM, Loschnigg JP, Leben RR (1999): Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997-1998. *Nature*, 401:356-360.
- Yamamoto R, Iwashima T, Sanga NK (1986): An analysis of climatic jump. *Journal of the Meteorology Society of Japan*, 64:273-280.
- Yasunaka S, Hanawa K (2002): Regime shifts found in the Northern Hemisphere SST field. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 80:119-135.
- Yuan X (2004): ENSO-related impacts on Antarctic sea ice: a synthesis of phenomenon and mechanisms. *Antarctic Science*, 16:415-425.

