

## **ESTUDIO NUMERICO DE SENSIBILIDAD A DIFERENTES CLIMATOLOGIAS DE VIENTO**

**Elbio D. Palma<sup>\*#</sup> y Lina E. Sitz<sup>\*</sup>**

<sup>\*</sup> Departamento de Física  
Universidad nacional del Sur  
Av. Alem 1250, Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: lsitz@uns.edu.ar

<sup>#</sup> Instituto Argentino de Oceanografía, CONICET  
Complejo CRIBABB, Camino La Carrindanga Km. 7  
8000 Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina  
e-mail: uspalma@criba.edu.ar

**Palabras Clave:** Métodos numéricos, Plataforma Continental, Climatologías de viento.

**Abstract:** *Una de las formas básicas en que la atmósfera interacciona con el océano es a través del esfuerzo del viento aplicado sobre la superficie. El objetivo de este trabajo es investigar, mediante el empleo de un modelo numérico, el impacto de la elección de diferentes climatologías de viento sobre la circulación oceánica en la plataforma continental argentina. Las climatologías examinadas provienen de diferentes fuentes. Dos de ellas se elaboraron a través de mediciones de campo [Hellerman and Rosenstein, 1983; daSilva et al, 1994], tres derivan de modelos atmosféricos globales [Trenberth et al 1990; Garnier et al, 2000; Kalnay et al, 1994], y una de datos satelitales [QuickScat]. Específicamente se analiza la variación de la circulación media y estacional en la plataforma generada por las diferentes climatologías. Debido a la falta de información observacional para decidir cual de las bases de datos representa mejor las condiciones medias anuales en la región, el estudio se propone diferenciar los aspectos robustos de la circulación sobre la plataforma de aquellos que son altamente dependientes de la base de datos de vientos seleccionada.*

## 1 INTRODUCCIÓN.

La Plataforma Continental del Sudoeste Atlántico (PCSA) es la más grande del hemisferio Sur<sup>1</sup>. Se extiende desde el Banco de Burdwood en Argentina (55°S) hasta Cabo Frío, Brasil (23°S). (Fig. 1). La PCSA es relativamente angosta en el norte (70 km en el sur de Brasil y Uruguay) y se ensancha hacia el Sur (850km en el sur de Argentina). La circulación oceánica en esta vasta región depende de la propagación de mareas, vientos, descargas de agua dulce y la influencia de corrientes de borde oeste (Corrientes de Brasil y Malvinas). La importancia relativa de estos forzantes varía regionalmente. Al sur de 40°S la circulación es dominada por la marea y fuertes vientos del oeste y más al norte en la región brasilera por el flujo hacia el sur de la corriente de Brasil y las descargas del Río de la Plata y la Laguna de los Patos. Aunque el efecto del viento es seguramente importante, su importancia relativa no se halla completamente determinada. La respuesta local del viento está obscurecida en el sur por las grandes corrientes de marea y en el norte por la proximidad de las corrientes de borde.

La distribución de los vientos en la PCSA está caracterizada por intensidades relativamente altas (0.15Pa) en la Plataforma Patagónica (PP, entre aproximadamente 52°S y 40°S) y valores más bajos en el norte. La magnitud y dirección se halla modulada por las oscilaciones estacionales del centro de alta presión del Sud Atlántico<sup>2</sup>. Las escasas observaciones disponibles indican que el esfuerzo del viento en el sur genera un flujo hacia el noreste sobre la PP interna y media<sup>3</sup>. Modelos numéricos previos adscriben este flujo a la acción de los vientos del oeste sobre la superficie. Forbes y Garrafo<sup>4</sup> usaron un modelo de Ekman de una capa forzado con Hellerman and Rosenstein (HR83)<sup>5</sup> y estimaron corrientes superficiales de hasta 20 cm/s. Encontraron que el transporte es mayor en invierno que en verano. Glorioso and Flather<sup>6</sup> usaron un modelo barotrópico forzado con HR83. De acuerdo con sus resultados, la circulación media en la PP se orienta en dirección NE con dos giros antihorarios, uno en Bahía Grande (50°S) y otro en el Golfo San Jorge (46°S).

Pereira<sup>7</sup> y Lima et al<sup>8</sup> investigaron la circulación en la Plataforma del Sur de Brasil (PSB, 35°S a 28°S) con modelos simplificados de Ekman. Usando vientos analíticos uniformes, Pereira concluyó que la circulación se invierte con los vientos, siendo hacia el sudeste en verano y hacia el noreste en invierno. Más hacia el norte, en la Bahía del Sur de Brasil (BSB, entre aproximadamente 28°S y 20°S), las observaciones muestran corrientes en la plataforma media que siguen las isobatas y son coherentes con la dirección del viento<sup>9</sup>. Durante el año, estas corrientes fluyen predominantemente hacia el sudoeste con corrientes medias de 0.4/0.5 m/s. Las variaciones en el nivel del mar estacionales en esa zona, muestran valores mayores en otoño y menores en la primavera en correspondencia con los cambios en dirección del viento.

En un estudio reciente Palma *et al*<sup>10</sup> discuten la circulación barotrópica en el PCSA usando los vientos de Trenberth *et al*<sup>11</sup> (TR90) y notan que hay diferencias sustanciales entre

éstas y otras climatologías de vientos y que esas diferencias seguramente se reflejarán en la circulación oceánica. Aunque durante la última década se han confeccionado nuevas bases de datos de viento tanto de re-análisis de modelos atmosféricos de predicción (p.e. National Center for Environmental Prediction, NCEP), o de mediciones satelitales (p.e. QuikSCAT<sup>12</sup>), ninguna de ellas ha sido utilizada para investigar la circulación de la PCSA. En este estudio emplearemos un modelo de ecuaciones primitivas para investigar la sensibilidad de la

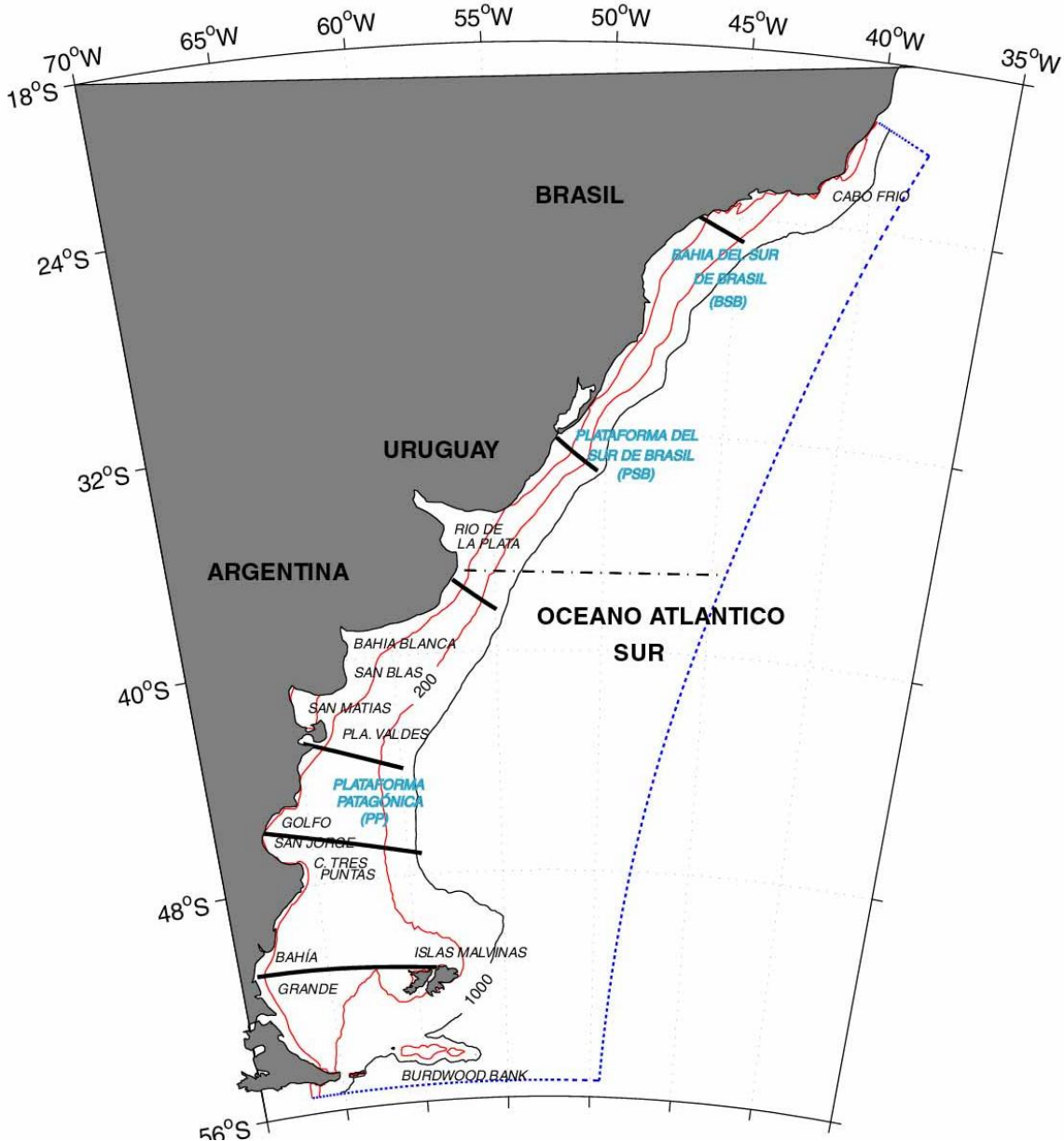


Figura 1. Batimetría del modelo y ubicaciones geográficas de regions referidas en el texto. La línea punteada indica los límites oceánicos del modelo. Las líneas gruesas oscuras indican las secciones transversales empleadas para calcular el transporte en la plataforma continental.

circulación oceánica cuando se emplean diferentes climatologías de viento. Como las mediciones no proveen datos suficientes para decidir cuales de estos forzantes representa mejor las condiciones anuales medias y estacionales en la región, el objetivo de este estudio es diferenciar aspectos robustos de aquellos que son altamente dependientes de la base de vientos empleadas.

El artículo está organizado de la siguiente manera: luego de la Introducción, en la sección 2 se ofrece una descripción de las características del modelo y de las diferentes climatologías de viento empleadas como forzante. Finalmente, en las Secciones 3 y 4 se presentan y discuten los resultados de los experimentos numéricos.

## 2. CONFIGURACIÓN DEL MODELO.

### 2.1. Modelo numérico.

Para realizar el estudio de sensibilidad a las diferentes climatologías emplearemos un modelo numérico, el Princeton Ocean Model (POM). Las ecuaciones del modelo y los algoritmos numéricos que se emplean en su resolución se hallan detallados en Blumberg and Mellor<sup>13</sup> y por lo tanto sólo se presenta aquí un resumen. El modelo resuelve las ecuaciones primitivas tridimensionales en una grilla C de Arakawa. El esquema numérico conserva cantidades lineales y cuadráticas, como la masa y la energía cinética. El modelo emplea coordenadas sigma en la vertical y coordenadas curvilíneas en la horizontal. La mezcla horizontal se resuelve mediante un operador Laplaciano mientras que los coeficientes de mezcla vertical se determinan por medio de un esquema de clausura turbulenta<sup>3</sup>.

El dominio computacional se extiende de 55°S a 20°S y de 70°W a 40°W (Fig. 1). La grilla curvilínea horizontal tiene 250 nodos en la dirección longitudinal (a lo largo de la costa) con resolución promedio de 7.5 km, y 150 nodos en dirección transversal, con una resolución promedio de 10 km. En la vertical el modelo es discretizado en 25 niveles sigma con menor espaciamiento en la superficie y fondo para la resolución apropiada de las capas límites. La densidad se mantiene constante en este modelo barotrópico, con una temperatura de 20°C y una salinidad de 35 psu.

Para mejorar la representación de la topografía de fondo en las zonas poco profundas hemos mejorado los datos de la base de datos global de Smith and Sandwell<sup>4</sup>, con valores, para profundidades menores de 250 m, obtenidas de cartas náuticas del Servicio de Hidrografía Naval (Argentina). Algunos contornos batimétricos seleccionados se muestran en Fig. 1. Para reducir errores asociados con los gradientes de presiones en niveles sigma<sup>15</sup> la topografía fue suavizada en regiones de grandes gradientes topográficos. Las condiciones de borde sobre tierra se implementan por medio de una máscara que asegura que la velocidad normal a la costa sea nula. El modelo tiene tres bordes abiertos en el sur, norte y este. Las

condiciones de borde abierta para el modo barotrópico y las velocidades internas fueron seleccionadas siguiendo los resultados de Palma and Matano<sup>16, 17</sup>.

## 2.2 Forzante del modelo.

**Mareas.** Los datos de variación del nivel del mar empleados para representar el forzante de la marea fueron directamente interpolados del modelo global de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$  desarrollado en la Universidad de Oregon<sup>18</sup>. El modelo global fue construido mediante una solución inversa de datos satelitales (TOPEX) y es uno de los más precisos de acuerdo a una comparación reciente de varios modelos globales<sup>19</sup>.

**Climatologías de viento.** Las tres fuentes principales de climatologías de viento disponibles son: datos tomados de barcos y boyas flotantes (in-situ); re-análisis de los centros de predicción numérica del clima (CPNC) y más recientemente observaciones satelitales.

(i) *Observaciones in-situ.* Estas son climatologías de viento generadas mediante el empleo de informes de barcos que se hallan registrados en varios bancos de datos. El esfuerzo del viento se obtiene mediante parametrizaciones empíricas basadas en la observación del estado superficial del océano. La base de datos de HR83 fue construida mediante el empleo de observaciones obtenidas desde 1870 a 1976. Los datos de viento estimados de la superficie del mar se convierten empleando una escala equivalente (Beaufort) la cual introduce errores en las velocidades de viento climatológicas. Además, el coeficiente de arrastre que se emplea sobreestima el esfuerzo del viento. Recientemente, da Silva *et al* (DS94)<sup>20</sup> calcularon los campos de esfuerzo de viento basado en observaciones individuales de la base de datos COADS con correcciones para evitar los errores de conversión de escala y una mejor parametrización del coeficiente de arrastre. Sin embargo, la confiabilidad de estos campos está limitada por la falta de observaciones sobre grandes áreas del océano mundial, particularmente en el hemisferio sur.

(ii) *Análisis de CPNC.* Los centros CNPC están llevando a cabo ciclos de asimilación de datos en forma continua y diseñados para producir un estado inicial de la atmósfera que conducirá posteriormente al mejor subsiguiente pronóstico. Un análisis de la salida del ciclo de asimilación describe el estado de la atmósfera para el período considerado (usualmente 6 hrs) Empleando esos datos, los centros mundiales más importantes (European Centre for Medium Weather Forecast, ECMWF, y NCEP) han llevado a cabo re-análisis de observaciones meteorológicas con los cuales se construyeron climatologías de velocidades de viento en superficie. El primer intento de construir una climatología de este tipo fue realizado por Trenberth *et al* (1990), (TR90) que empleó 7 años (1980-1986) de análisis de ECMWF. Mayor información de los productos más recientes derivados se pueden encontrar en Kalnay *et al*<sup>21</sup> para el proyecto de re-análisis NCAR/NCEP (40 años) y Garnier *et al*<sup>22</sup> para los 15 años de re-análisis de ECMWF (ER15). Seleccionamos para la comparación los datos de

ER15, que comprende el período 1979-1993 y construimos una climatología basada en datos NCEP cubriendo el mismo período de tiempo (NC15).

(iii) *Observaciones Satelitales.* Desde 1991, las misiones satelitales proveen información extremadamente valiosa sobre vientos superficiales. En años recientes los datos del escaterómetro QuikSCAT, desarrollado por el Jet Propulsion Laboratory de NASA han sido empleados para mejorar pronósticos de vientos extremos y en el monitoreo de efectos climáticos de largo alcance. Utilizando el archivo que cubre 3 años (1999-2001) de mediciones, estimamos la señal anual y semi-anual del esfuerzo del viento y construimos una climatología (QU01). Con el propósito de comparar los mismos intervalos temporales, construimos además climatologías usando datos de ECMWF y NCEP en el mismo período 1999-2001 (EC01 y NC01 respectivamente).

Los vientos climatológicos (media anual) interpolados sobre el dominio computacional y para un grupo seleccionado de bases de datos se muestran en la Fig. 2. La estructura latitudinal del esfuerzo del viento induce una división de la PCSA en tres regiones (Fig 2b): de 56° S a 40° S (región Sur, básicamente la Plataforma Patagónica, PP) el viento es predominantemente costa afuera; de 40° S a 30° S (zona media, el litoral bonaerense, el estuario del Río de la Plata y la Plataforma Sur de Brasil (PSB)) ambas componentes del viento son de magnitud comparable; y finalmente de 30° S a 23° S (región norte, básicamente la Bahía del Sur de Brasil, BSB) el esfuerzo es predominantemente a lo largo de la costa. La estructura de los vientos perpendicular a la costa es similar en todas las bases de datos, con un máximo positivo (costa afuera) (~0.10Pa) en la parte más al sur del dominio y disminuye hacia el norte hasta ~ 37° S donde cambia de signo. El esfuerzo es más intenso para TR90, EC01 y NC01, y de menor intensidad para DS94 y QU01. Las diferencias, sin embargo son más significativas para la componente del viento a lo largo de la costa, particularmente para HR83 y TR90. Mientras HR83 tiene componente positiva (i.e. hacia el norte) en casi todo el dominio, TR90 es negativa (i.e. hacia el sur). Al norte de ~31° S la componente a lo largo de la costa es negativa en todas las bases de datos.

### 3. RESULTADOS.

#### 3.1. Forzante medio anual.

Comenzaremos la discusión comparando las climatologías HR83 y TR90, las cuales representan los extremos de aquellas descritas en la sección 2 (Fig. 2). Las velocidades medias (promediadas en vertical) conjuntamente con la función de corriente se muestran en la Fig. 3. HR83 muestra un flujo hacia el norte sobre la mayor parte del dominio (Fig 3a y b). La circulación cerca de la costa es relativamente débil excepto cerca de Bahía Grande y el Golfo San Jorge, donde el modelo predice la formación de intensos giros antihorarios. El transporte tiene un máximo (~0.65 Sv) cerca de 51°S (Tabla I) y disminuye hacia el norte en correspondencia con la disminución del forzante de viento (Fig. 2a). En respuesta a un viento

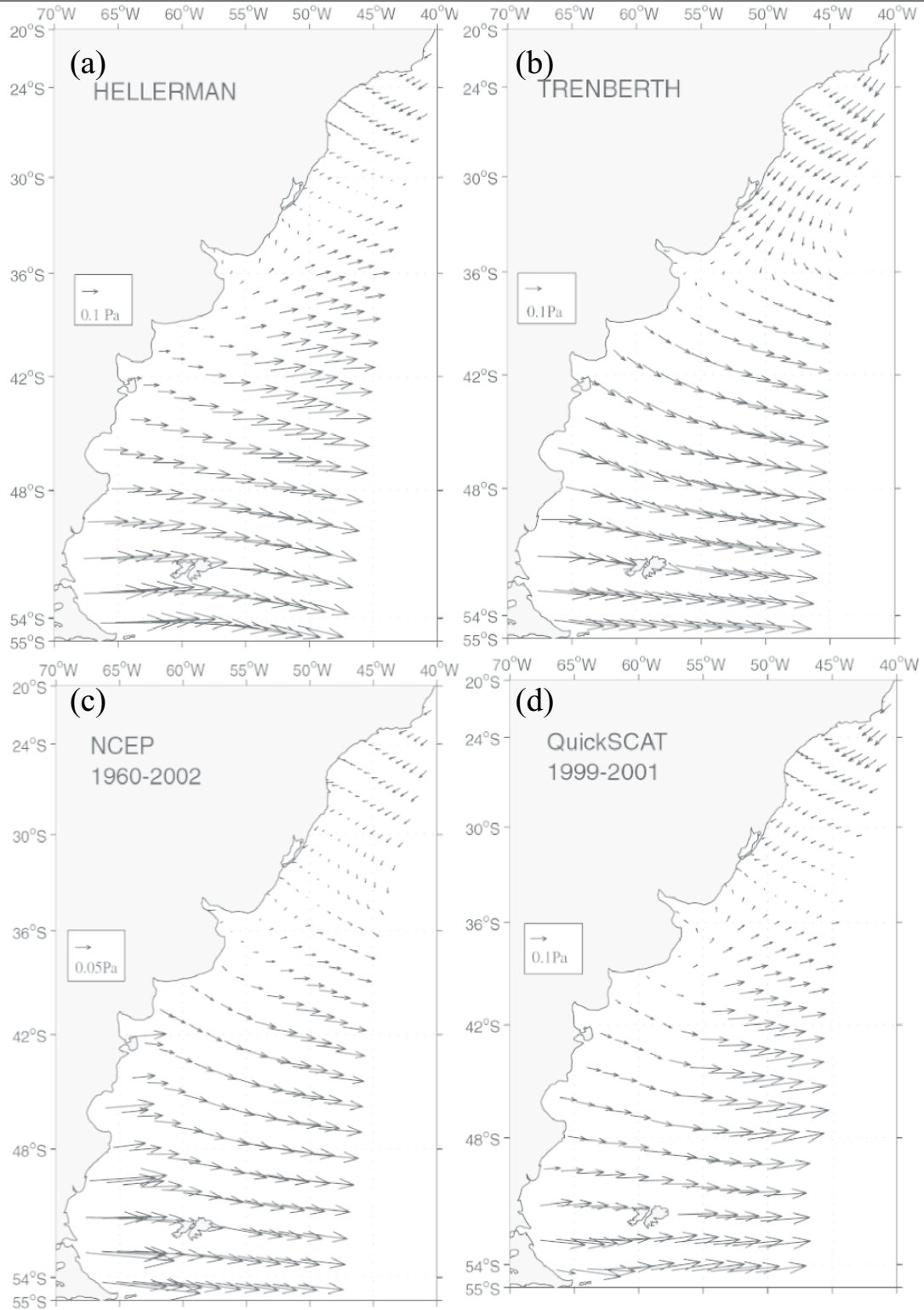


Figura 2. Climatologías de viento (los vectores indican dirección y magnitud en Pa del esfuerzo del viento en superficie) seleccionadas de aquellas que se han empleado para forzar el modelo numérico. (a) Hellerman and Rosenstein (HR83), (b) Trenberth et al (TR90), (c) NCEP (NC15), (d) QuikSCAT (QU01).

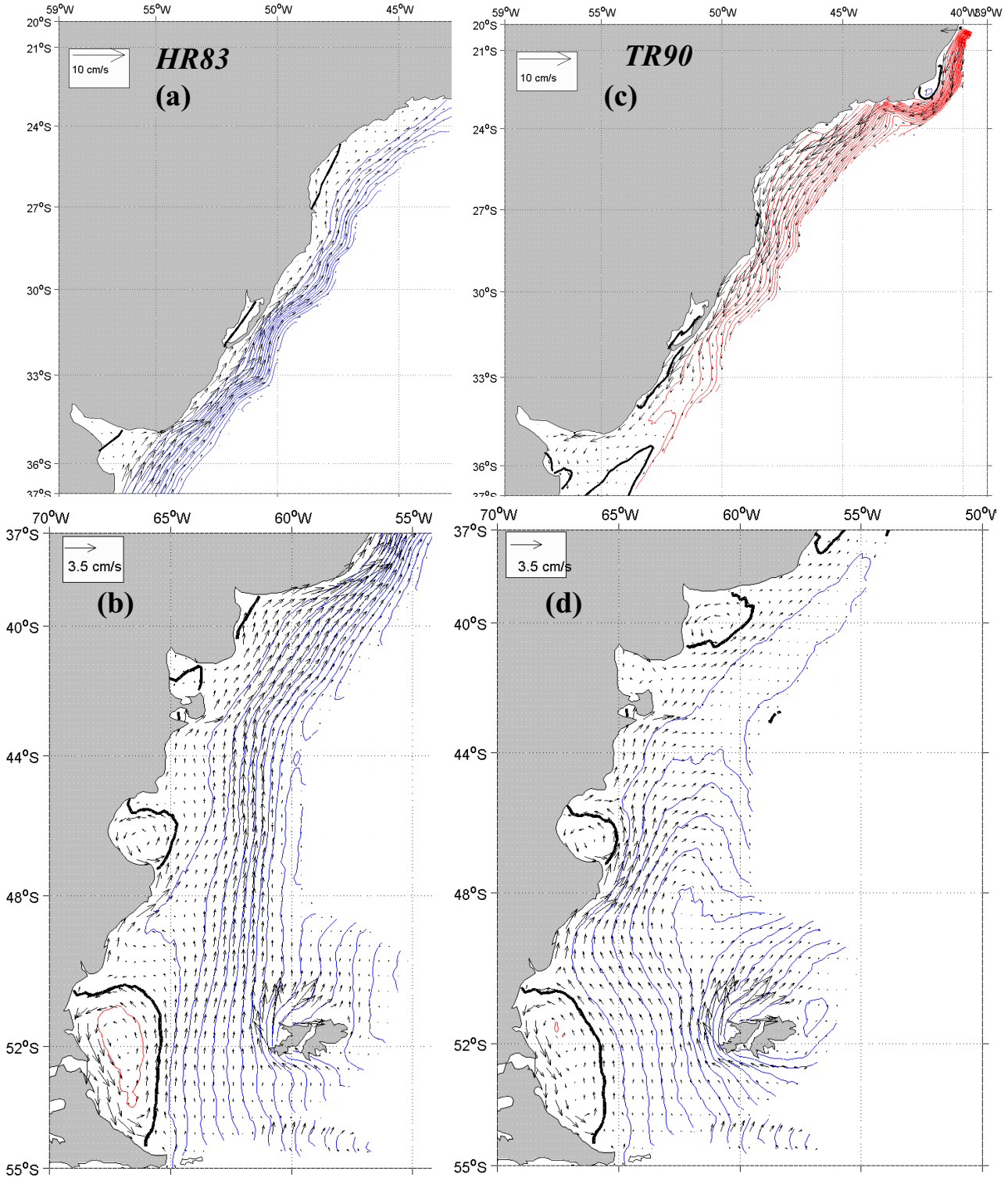


Figura 3. Velocidades medias y función de corriente para forzante HR83 [a y b], y forzante TR90 [c y d]. La línea negra gruesa indica el contorno 0. El intervalo de contornos es 0.05 Sv ( $1\text{Sv} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Colores azules indican valores negativos de la función de corriente (flujo medio hacia el norte), colores rojos valores positivos.



predominantemente costa afuera, se produce una depresión del nivel del mar cerca de la costa hasta aproximadamente 45°S (Fig. 4b). La topografía submarina y la línea de costa generan una gran influencia sobre el nivel medio del mar, que muestra sobre-elevaciones en las regiones donde el viento actúa localmente a lo largo de la costa. El flujo superficial puede dividirse en dos regiones de acuerdo al balance de fuerzas. Cerca de la costa y bajo la influencia de los gradientes de elevación el flujo es generalmente en dirección del viento, pero en regiones aguas afuera de la isobata de 50 m, gira gradualmente hacia la izquierda hasta convertirse en un flujo puro de Ekman sobre la mayor parte de la costa patagónica (Fig. 4b). Las velocidades máximas superficiales alcanzan los 20 cm/s y son consistentes con resultados numéricos previos<sup>4,23</sup>.

La circulación media correspondiente al experimento TR90 muestra diferencias significativas con respecto al experimento HR83. El flujo medio se bifurca luego de cruzar 51°S (Fig. 3d) y la mayor parte del transporte se desvía costa afuera (Tabla I). Esto es consistente con las diferencias que presentan ambas bases de datos en la componente del viento a lo largo de la costa que se muestra en las Fig. 2a y 2b. Los contrastes más intensos en la respuesta son particularmente aparentes en la elevación de la superficie, con TR90 mostrando una depresión del nivel del mar a lo largo de toda la costa (Fig. 4d). Esto puede relacionarse con el cambio de dirección del vector esfuerzo del viento al norte del Golfo San Jorge (~ 45°S) (Fig. 2b), el cual genera adicionalmente un flujo superficial diferente al de HR83, orientado en dirección predominantemente zonal (Fig. 4d).

	HR83	DS94 (COADS)	TR90 (ECMWF)	ER15 (ECMWF)	NC15 (NCEP)	QU01 (QuikSCAT)	EC01 (ECMWF)	NC01 (NCEP)
<b>BGS</b>	0.65	0.27	0.65	0.54	0.53	0.40	0.63	0.50
<b>SJS</b>	0.33	0.07	0.25	0.26	0.27	0.13	0.40	0.06
<b>MAS</b>	0.30	0.05	0.09	0.17	0.25	0.11	0.38	0.10
<b>MPS</b>	0.36	0.10	0.04	0.18	0.23	0.11	0.38	0.02
<b>LPS</b>	0.32	0.16	-0.10	0.08	0.15	0.12	0.26	-0.05
<b>SBS</b>	0.17	0.09	-0.43	-0.23	-0.08	-0.06	0.05	-0.23
<b>BGG</b>	0.08	0.10	0.055	0.14	0.20	0.08	0.06	0.35
<b>SJG</b>	0.035	0.03	0.03	0.05	0.02	0.015	0.01	0.04

**Tabla I.** Transporte a través de secciones seleccionadas a lo largo de la costa. BGS= Sección Bahía Grande, SJS=Sección San Jorge, MAS = Sección Madryn, MPS = sección Mar del Plata, LPS = Sección Laguna de los Patos, SBS = Sección Bahía de Sartos, BGG = intensidad del giro de Bahía Grande, SJG = intensidad del giro del Golfo San Jorge. Los valores están en Sv, 1Sv = 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/s. Las secciones están indicadas en la Figura 1.

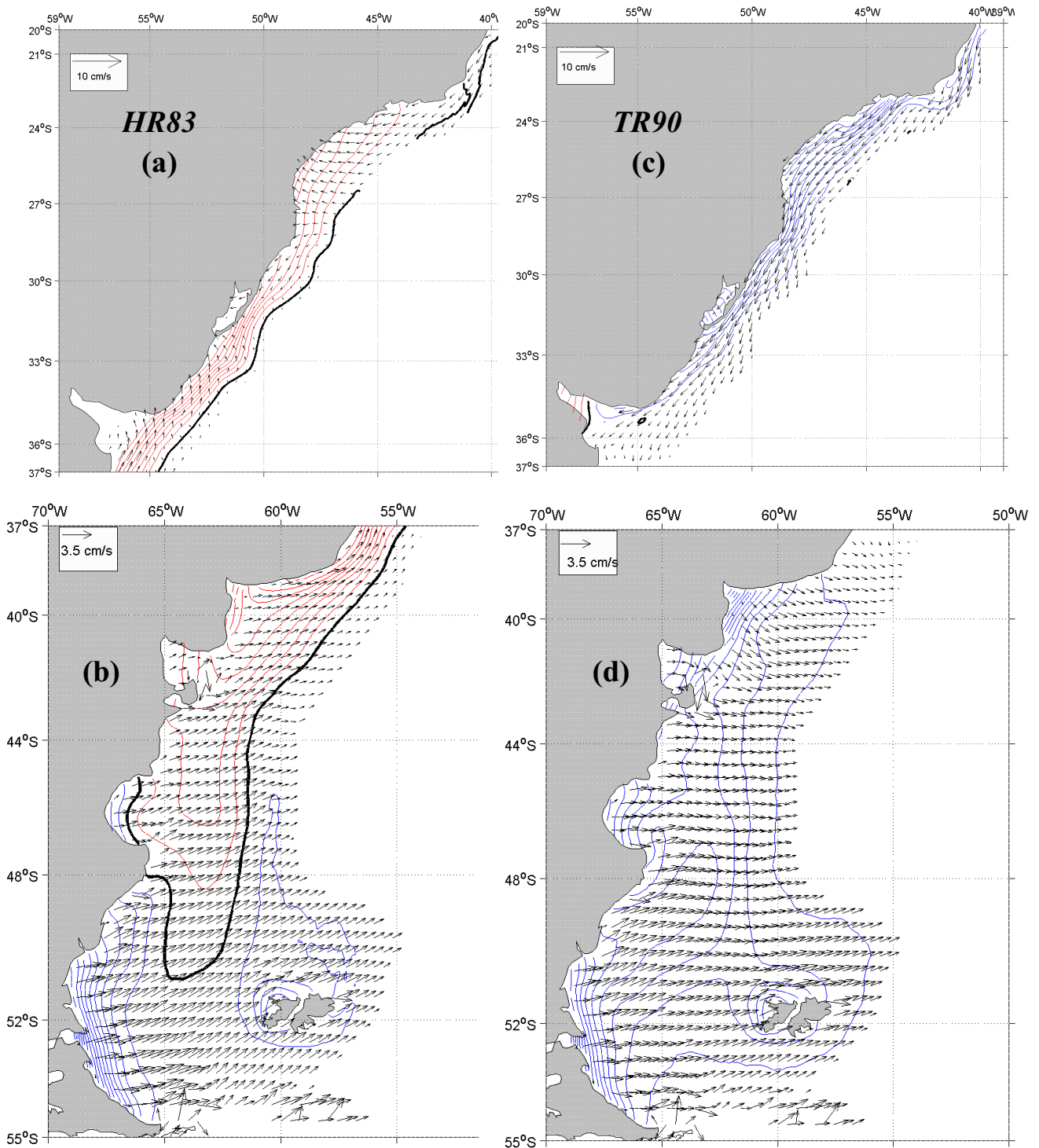


Figura 4. Velocidades superficiales y elevación de la superficie libre para forzante HR83 [a y b], y forzante TR90 [c y d]. La línea negra gruesa indica el contorno 0. El intervalo de contornos es 0.5 cm.. Colores azules indican valores negativos de la elevación (depressiones), colores rojos valores positivos (sobre elevación).

Las diferencias entre los resultados de los experimentos HR83 y TR90 es aún más acentuada en la porción norte de la plataforma. El transporte que predice TR90, por ejemplo, no sólo es de signo opuesto al de HR83 sino que es cinco veces mayor en la porción norte del dominio (Tabla I y Fig. 3c). Las discrepancias no pueden atribuirse simplemente a las diferencias locales en el esfuerzo del viento, dado que ambas climatologías tienen intensidad comparable al norte 34°S (Fig. 2a). La magnitud del transporte en una sección particular de la plataforma depende del forzante local y también de contribuciones remotas (advección). En este caso, el transporte hacia el norte en la BSB producido por HR83 (Fig. 3a) puede atribuirse en parte a la advección hacia el norte de aguas provenientes de la Plataforma Patagónica, indicando una mayor penetración de aguas subantárticas en la plataforma norte. En contraste, los resultados de TR90 muestran que las aguas australes alcanzan sólo hasta 37°S, al norte de esa región, la circulación es dominada por el flujo hacia el sur desde latitudes más bajas (Fig. 3c). La plataforma norte también muestra diferencias significativas en cuanto a la elevación de la superficie del mar y las velocidades superficiales, con sobre elevaciones del nivel del mar y corrientes superficiales de dirección NNE bajo HR83 y depresiones del nivel del mar y flujo SSO bajo TR90 (Fig. 4).

Los patrones de circulación asociados con el experimento QU01 en la PP son cualitativamente similares a los de HR83 aunque los valores de velocidad media y transporte son un 50% más bajos (Fig. 5d, Tabla I), mientras que el experimento NC15 muestra un transporte hacia el norte similar a TR90 al sur de 40°S (Fig. 5b y Tabla I). La característica más robusta de la circulación al sur de la Patagonia es el desarrollo de celdas de re-circulación en los mayores accidentes geográficos de la costa (Figs. 3 y 5). Estos giros aparecen en todas las simulaciones con las mayores amplitudes y transportes para las climatologías NC15 y ER15 y las menores para las simulaciones forzadas por HR83, TR90, QU01 y DS94 (Tabla I). Otra característica robusta de la simulación es la intensificación del flujo medio del lado oeste de las Islas Malvinas (Figs. 3 y 5). Comparado con las climatologías de corto plazo, el patrón de circulación obtenido con QU01 es similar al de EC01. La respuesta obtenida con NC01 difiere sustancialmente con respecto a QU01 y EC01, particularmente al norte de 40°S. El transporte hacia el norte disminuye rápidamente (Tabla I) y una gran parte de las aguas de plataforma se desvían aguas afuera. Los vientos de QU01 también producen un transporte hacia el norte en la PSB, aunque con menor intensidad comparado con HR83 y DS94 (Fig. 5c). Esto no ocurre bajo NC15 o ER15, que muestran un transporte muy pequeño hacia el norte más allá de 30°S (Fig. 5a y Tabla I). Las corrientes que predice el modelo en la BSB, fluyen predominantemente hacia el sudoeste bajo TR90, ER15 y NC15 (Fig. 4a y 5a) y en menor medida para QU01 y NC01, un resultado que es cualitativamente consistente con mediciones y resultados de modelos numéricos previos de menor escala<sup>9</sup>.

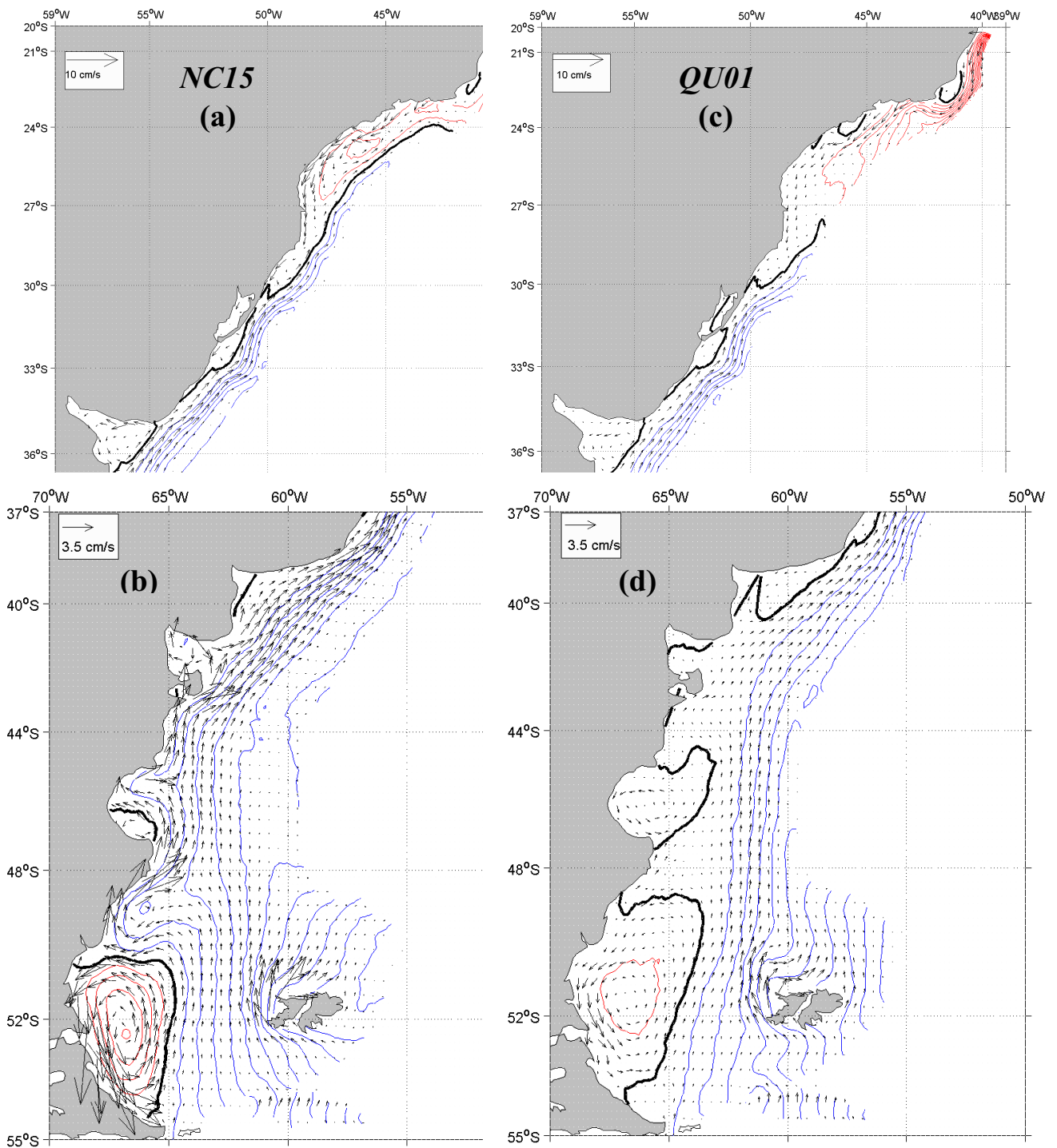


Figura 5. Velocidades medias y función de corriente para forzante NC15 [a y b], y forzante QU01 [c y d]. La línea negra gruesa indica el contorno 0. El intervalo de contornos es 0.05 Sv (1Sv = 10 m³/s). Colores azules indican valores negativos de la función de corriente (flujo medio hacia el norte), colores rojos valores positivos.

### 3.2 Forzante Estacional.

Estudios previos tanto de diagnóstico como numéricos empleando la climatología HR83 sugieren que el flujo medio en la PCSA presenta variaciones estacionales de importancia. La variabilidad es menos pronunciada en la PP<sup>4</sup> y más importante al norte de 37°S<sup>7,8</sup>. Un examen de datos hidrográficos históricos entre 20°S y 40°S muestra un patrón estacional distintivo en la salinidad superficial con la pluma del Río de la Plata extendiéndose hasta 28°S en invierno y retrayéndose a 34° S en verano<sup>24</sup>. Como la descarga del río no presenta variaciones estacionales significativas, el comportamiento de la pluma puede atribuirse a cambios en los vientos.

Los patrones de circulación estacional obtenidos promediando los resultados bajo forzante HR83 y TR90 se muestran en las Figs. 6 y 7. La respuesta bajo HR83 contiene tanto características persistentes como fuertes variaciones estacionales. Sobre la PP los patrones predominantes para todos los períodos son el flujo hacia el norte entre las isobatas de 100 y 200 m y el flujo hacia el sur cerca de la costa al sur de 49°S. Este flujo costero hacia el sur en Bahía Grande y Golfo San Jorge se encuentra con el flujo principal y produce giros antihorarios a lo largo de todo el año (Fig. 6b y 7b). En el otoño el flujo hacia el norte muestra un carácter continuo a lo largo de las plataformas sur y norte ( Figs. 6a y b) con un transporte máximo cercano a los 0.8Sv en la parte sur del dominio (Fig. 8b). El invierno marca el comienzo de aceleración de una celda de circulación antihoraria centrada aproximadamente en 45° S 62° 30'W que llega a su máxima intensidad en primavera (Fig. 7b). Los dos giros antihorarios en Bahía Grande y Golfo San Jorge son muy intensos durante el otoño-invierno con una intensidad cercana a los 0.25 Sv. Los resultados del modelo muestran que el nivel del mar es relativamente alto en verano-otoño y más bajo en invierno-verano (Figs 6 y 7 paneles de la izquierda). En la plataforma norte la característica más persistente es el flujo N/NE entre las isobatas de 100 y 200m (Fig. 6a y 7a) con su mayor intensidad (15 cm/s) y transporte (0.5 Sv) en otoño. La circulación al norte de 37°S (PSB) muestra una clara variación estacional entre la costa y la isobata 100m . En otoño e invierno la componente del viento es hacia el NE en esta región, y esto genera una sobre elevación del nivel del mar y un flujo geostrófico asociado dirigido hacia el noreste (Fig 6a). En primavera y verano el esfuerzo del viento es principalmente hacia la costa e induce un flujo hacia el sur entre la costa y la isobata 50 m con picos en la primavera en la BSB (Fig.7a). Nótese, sin embargo, que el transporte integrado entre la costa y los 200m es muy débil pero sigue siendo hacia el norte cerca de 30° S (Fig. 8 a y d).

La elevación de la superficie libre y las velocidades medias para el experimento con forzante estacional de TR90 se muestra en la Figs. 6d y 7d para la PP y Figs. 6c y 7c (PSB y BSB). La característica más persistente en la circulación en la PP es el flujo hacia el norte entre 55°S y 45°S con una rama principal girando aguas afuera después de cruzar las Islas

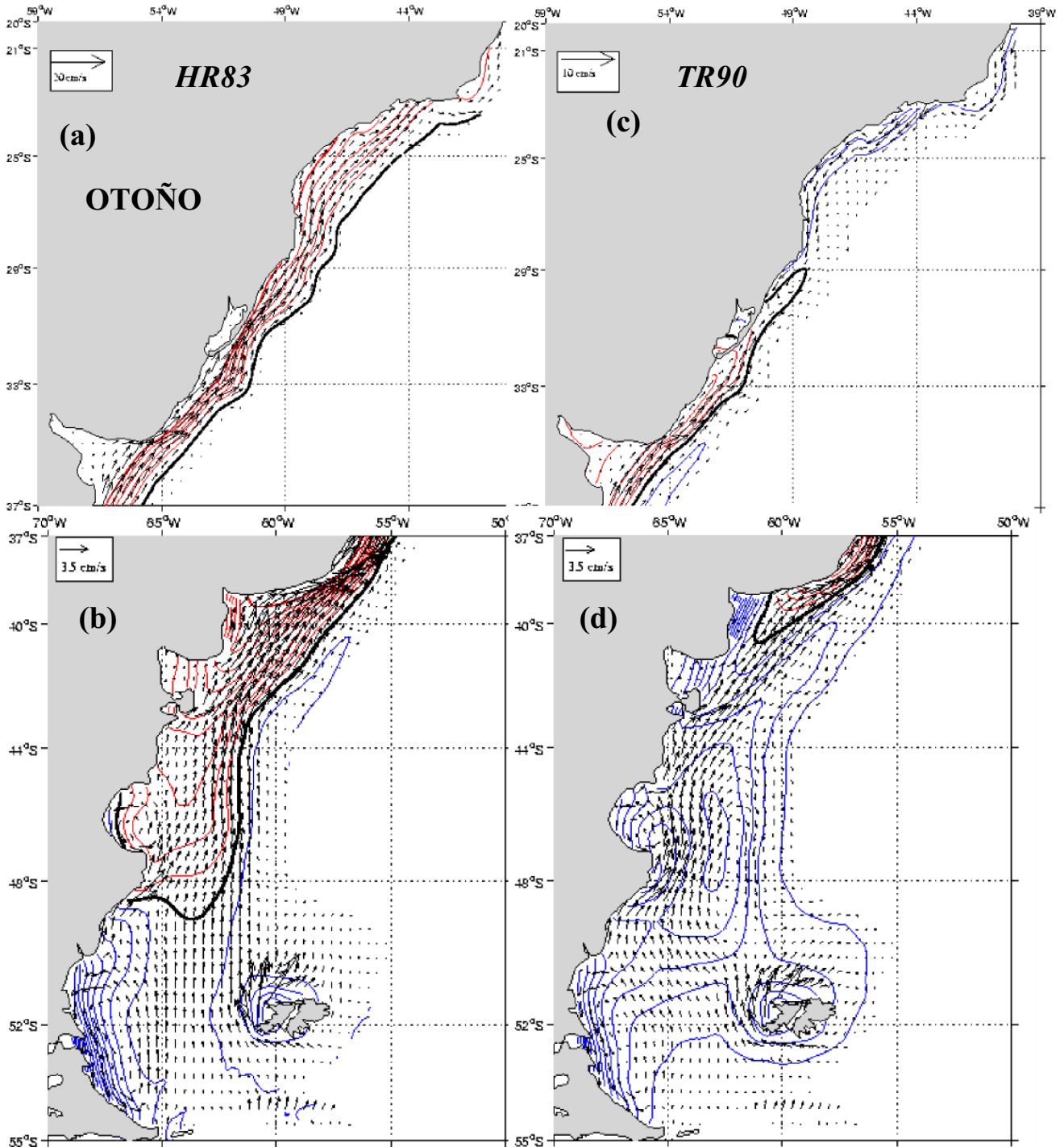


Figura 6. Velocidades superficiales y elevación de la superficie libre para forzante HR83 en otoño [a y b], y forzante TR90 en otoño [c y d]. La línea negra gruesa indica el contorno 0. El intervalo de contornos es 0.5 cm.. Colores azules indican valores negativos de la elevación (depresiones), colores rojos valores positivos (sobre elevación).

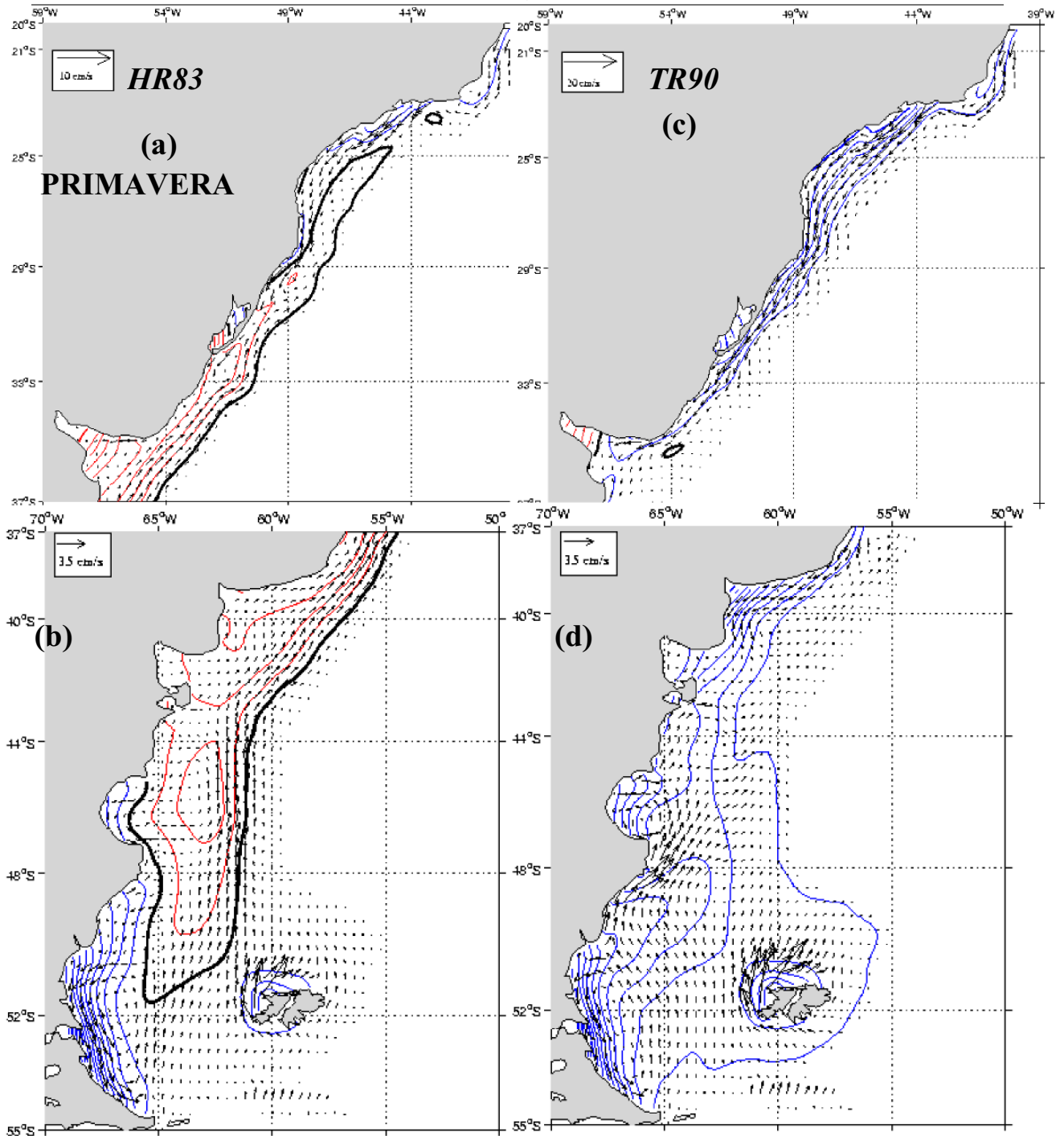


Figura 7. Velocidades superficiales y elevación de la superficie libre para forzante HR83 en primavera [a y b], y forzante TR90 en primavera [c y d]. La línea negra gruesa indica el contorno 0. El intervalo de contornos es 0.5 cm.. Colores azules indican valores negativos de la elevación (depresiones), colores rojos valores positivos (sobre elevación).

Malvinas y el giro antihorario formado en Bahía Grande (Figs. 6d y 7d). El flujo hacia el norte es más intenso en otoño y entre la costa y la isobata de 100m con más de 0.2Sv cruzando 40°S (Fig. 8b). Un intenso flujo de retorno de casi sigue las isobatas de 100m y 200m y se divide en dos ramas cerca de 50°S (Fig 6d). La rama de la derecha fluye hacia el este y se une con el flujo offshore que viene desde el sur, mientras que la rama de la izquierda fluye hacia el noroeste y se une con el flujo general de la plataforma interna hacia el NNE. Un giro horario centrado en 46°S 62° 30'W se forma entre los dos chorros (Fig. 6d). La posición del giro es evidente en el patrón de elevación de la superficie libre, que muestra un mínimo (-3cm) en el centro (Fig 6d ). En resto del año tanto el flujo interno hacia el norte como el flujo hacia el sur de retorno disminuyen y el giro se debilita y casi desaparece en verano. El giro antihorario de Bahía Grande se acelera durante el mismo período y alcanza su transporte máximo de 0.15 Sv en primavera (Fig. 7d). En la PSB la característica más persistente es el flujo hacia el SSO entre las isobatas de 100 y 200m con máximo transporte en primavera (Fig. 8d). La única excepción a esta situación es el flujo hacia el norte durante el otoño (Fig. 6c). Esta estación presenta la mayor anomalía tanto en transporte, (Fig. 8b), como en elevación de la superficie libre (Fig. 6c). Más al norte, en la BSB el flujo medio es hacia el sur en todas las estaciones y con mayor intensidad en primavera (Fig. 7d y Fig. 8).

Para comparar la respuesta estacional de todas las climatologías elegimos como variable representativa el transporte a través de secciones transversales (entre el talud y la isobata de 200 m) en función de la latitud (Fig. 8). Valores positivos (negativos) indican un flujo hacia norte (sur). La tendencia general del transporte es una disminución hacia el norte (pendiente negativa) en toda la PCSA para las estaciones de verano y primavera (Fig.8 a y d) y un incremento del transporte en la plataforma media (40°S a 30°S) durante los meses de otoño e invierno (Fig. 8 b y c). Excepciones a este patrón lo constituyen las climatologías de TR90, ER15 y NC15 en el mes de invierno y para la plataforma media y QU01 en primavera y para todo el dominio. Otoño y primavera presentan la mayor variabilidad estacional, durante el otoño el transporte es positivo (i.e. hacia el norte) para todas las climatologías con la excepción de TR90 (Fig. 8 b), mientras que en primavera la situación se revierte y el flujo medio integrado es hacia el sur en la plataforma media y norte (Fig. 8d). Las estaciones de verano e invierno representan situaciones intermedias, el verano con comportamiento similar a la primavera y el invierno al otoño.

#### **4. CONCLUSIONES.**

En este trabajo se han examinado resultados de un modelo numérico de la PCSA forzado por varias climatologías de vientos, algunas derivadas de observaciones (tanto in situ como remotas) y otras de centros de predicción del clima (CNPC). Dada la carencia de mediciones directas de vientos en gran escala preferimos no recomendar el uso de alguna de ellas en particular, aunque este trabajo demuestra que pueden ocurrir cambios significativos tanto en el transporte como en los patrones de circulación oceánica dependiendo de la elección



de la base de vientos a emplear en el forzado de modelos numéricos de predicción.

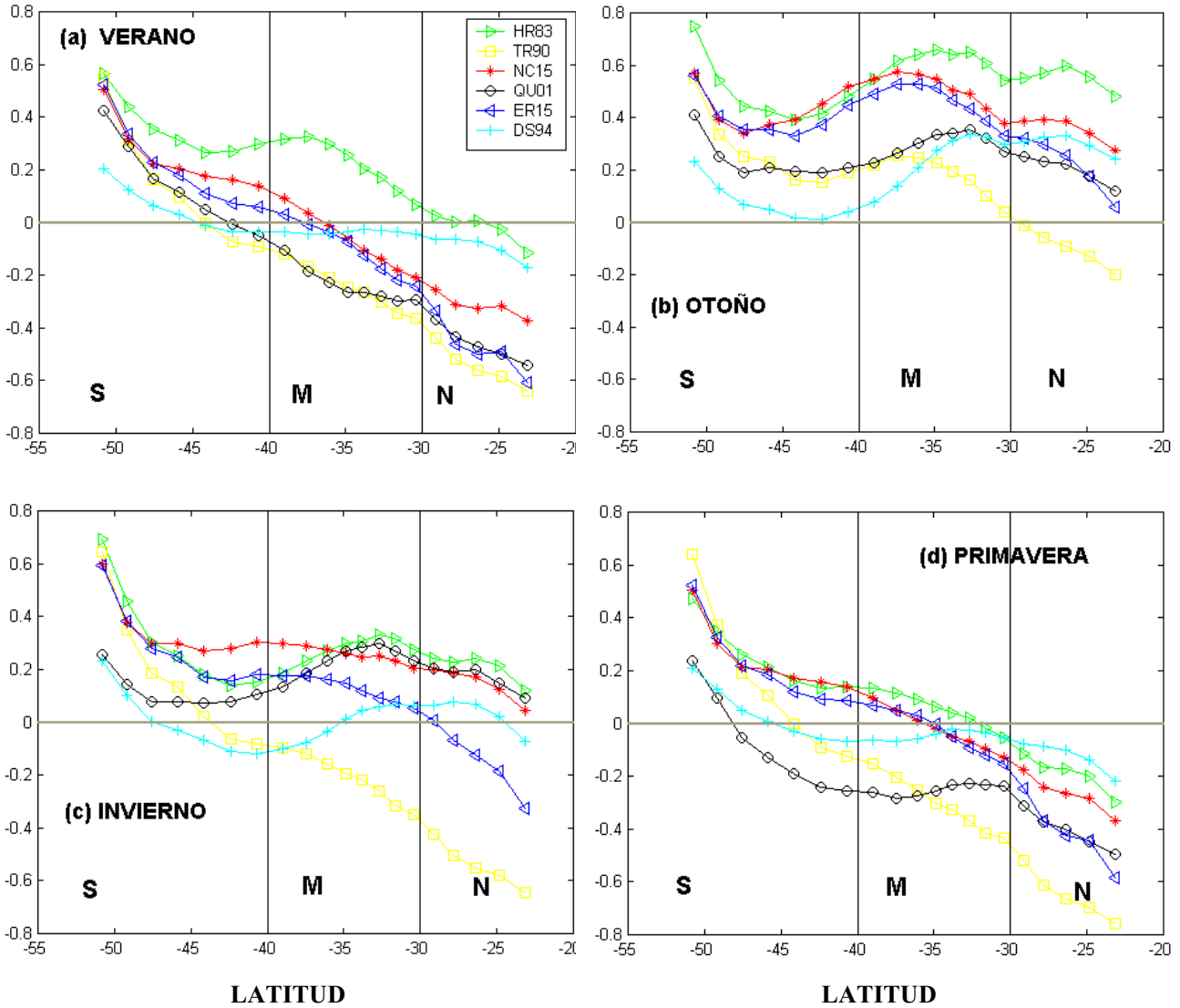


Figure 8. Transporte (en Sv) a través de secciones transversales a la costa (hasta 200 m) y en función de la latitud para las diferentes climatologías empleadas. (a) Verano, (b) Otoño, (c) Invierno, (d) Primavera. S indic Plataforma Sur (Patagónica), M Plataforma Media, y N Plataforma Norte. Valores positivos (negativos) indican flujo hacia el norte (sur).

Las diferencias más interesantes entre climatologías están ejemplificadas por HR83 y TR90, que representan casos extremos de todas las bases de datos analizadas. La intensidad del flujo medio hacia el NNE en el centro de la PP y la dirección del flujo al norte de 37°S dependen fuertemente de la elección de la base de datos que se emplee para forzar el modelo. La mayor parte del transporte se desvía hacia el talud si se emplea TR90, con cambios estacionales en la latitud de bifurcación. El flujo medio en la PSB y bajo TR90 es hacia el sur

y opuesto a la respuesta del océano bajo HR83. TR90 es la única base de datos que genera un transporte hacia el talud a lo largo de toda la PCSA, lo que implica que las características de las masas de agua de la PCSA están ampliamente determinadas por aportes realizados en latitudes muy altas o muy bajas. En la simulación forzada por HR83, sin embargo, hay un transporte significativo desde el talud hacia la plataforma entre 43°S y 32°S lo cual colabora para incrementar el transporte hacia el norte en toda la PP. Con la excepción de la porción de la costa al norte de 29° S la respuesta de la plataforma cuando se emplean vientos satelitales (QU01) se halla más cercana a HR83 que a TR90. La respuesta con vientos NC15 (NCEP), sin embargo, es más parecida a la generada por TR90. Las características más robustas de la respuesta del océano en escala anual incluyen el flujo hacia el norte en la parte sur de la PP (propia de vientos perpendiculares a la costa), el desarrollo de giros de recirculación en Bahía Grande y Golfo San Jorge y un intenso flujo hacia el Sur en la Bahía del Sur de Brasil (BSB) (típica de vientos con dirección paralela a la costa). Estas características se hallan bien representadas, con diferencias locales, por las bases de datos TR90, ER15, NC15 y las climatologías más cortas QU01 y NC01.

Otro resultado importante de las simulaciones es la sensibilidad de los transportes sobre la plataforma a escala estacional (Fig. 8). Para todas las climatologías, durante el otoño y en menor medida en verano, el transporte se incrementa hacia el norte en la plataforma media (litoral bonaerense y PSB) y disminuye en la misma proporción durante el invierno y la primavera. Sin embargo, la magnitud del transporte es altamente dependiente de la base de datos empleada, siendo en general mayor cuando se utiliza HR83 y menores bajo TR90. Por otro lado, durante la primavera y en la porción norte de la plataforma, el transporte hacia el sur es mayor bajo TR90 y menor para HR83. Con la excepción de HR83, todas las climatologías predicen un flujo hacia el sur en primavera en la región media de la PCSA. Este patrón es similar al obtenido por Pereira<sup>7</sup> usando un modelo simplificado de Ekman para la misma región. Observaciones hidrográficas realizadas por Martos and Piccoló<sup>5</sup>; Lima et al<sup>8</sup>; y Piola et al<sup>24</sup> presentan una evidencia indirecta del flujo hacia el sur en la plataforma interna y entre 28°S y 42°S durante primavera-verano. En líneas generales, la respuesta para todas las estaciones presenta las mayores diferencias cuando se emplean las climatologías de HR83 y TR90 y es más concordante cuando se utilizan ER15 o NC15. El resto de las climatologías, DS94 y QU01 presentan una respuesta disímil a lo largo de año. DS94 es la más anómala de todas las bases de datos investigadas, mientras que QU01 presenta una respuesta similar a TR90 en verano (Fig. 8a) y a HR83 en invierno (Fig. 8c). Más allá de estos resultados, sin embargo, la confirmación final de cuál es la base de datos que mejor puede representar la respuesta observada de la circulación sobre la plataforma debe esperar la obtención y análisis de mayor cantidad de observaciones directas.

## 5. REFERENCIAS.

- [1] Bisbal, G. A., "The Southeast South American shelf large marine ecosystem: Evolution and components", *Marine Policy*, **19**, 1, 21-38, (1995).
- [2] Hoflich, O., "Climate of the South Atlantic". In: *Climates of the Oceans*, H. Van Loon, editor, World Survey of Climatology, **15**, Elsevier, 1-132, (1984).
- [3] Rivas, A.L., "Current meter observations in the Argentine Continental Shelf", *Cont. Shelf Res.*, **17**, 391-406, (1997).
- [4] Forbes, M. C., and Z. D. Garraffo, "A note on the mean seasonal transport on the Argentinean shelf", *J. Geophys. Res.*, **93**, 2311-2319, (1988).
- [5] Hellerman, S., and M. Rosenstein, "Normal monthly wind stress over the World Ocean with error estimates". *J. Phys. Oceanogr.*, **13**, 1093-1104, (1983).
- [6] Glorioso, P.D. and Flather, R.A., "A barotropic model of the currents off SE South America." *J. Geophys. Res.*, **100**, 13427-13440, (1995).
- [7] Pereira, C. S., Seasonal variability in the coastal circulation on the Brazilian continental shelf (29°S-35°S). *Cont. Shelf Res.*, **9**, 285-299, (1989).
- [8] Lima, I. D., Garcia, C. A. E., and O. Moller, "Ocean surface processes on the southern Brazilian shelf: characterization and seasonal variability", *Cont. Shelf Res.*, **16**, 1307-1317, (1996).
- [9] Castro, B. M. and L. B. Miranda , "Physical oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4N and 34S", in *The Sea*, Vol. **11**, (A. R. Robinson and K. H. Brink eds.), John Wiley & Sons, 209-251, (1998).
- [10] Palma, E.D., R. P. Matano and A. R. Piola, "A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: The barotropic response to tidal and wind forcing.", *J. of Geophys. Res.*, **107**, in press, (2004).
- [11] Trenberth K. E., W. G. Large, and J. G. Olson, "The mean annual cycle in global wind stress.", *J. Phys. Oceanogr.*, **20**, 1742-1760, (1990).
- [12] Jet Propulsion Laboratory, "QuikSCAT Science Data Product User's Manual", version 1.1, *JPL D-18053*, pp. **84**, (1999).
- [13] Blumberg, A. F. and G. L. Mellor, "A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model.", *Three-dimensional Coastal Ocean Models*, Coastal and Estuarine Sci. Ser., Vol. **4**, (N. Heaps Ed.), American Geophysical Union, Washington DC, 1-16, (1987).
- [14] Smith R. D. and D. T. Sandwell, "Global sea floor topography from satellite altimetry and ship depth soundings", *Science*, **277**, 1956-1962, (1997).
- [15] Haney, R. L., "On the pressure gradient force over steep topography In sigma coordinate ocean models", *J. Phys. Oceanogr.*, **21**, 610-619, (1991).
- [16] Palma, E.D., and Matano, R.P., "On the implementation of passive open boundary conditions for a General Circulation Model : The barotropic mode.", *J. Geophys. Res.*, **103**, 1319-1341, (1998).
- [17] Palma, E.D., and Matano, "On the implementation of passive open boundary conditions

- for a General Circulation Model : The three dimensional case.”, *J. of Geophys. Res.*, **103**, 1319-1341, (2000).
- [18] Egbert, G. D., A. F. Bennet, and M. G. G. Foreman, “TOPEX/POSEIDON tides estimated using a global inverse model”, *J. Geophys. Res.*, **99**, 24821-24852, (1994).
- [19] Andersen, O. B., P. L. Woodworth and R. A. Flather. “Intercomparison of recent ocean tide models”, *J. Geophys. Res.*, **100**, 25261-25282, (1995).
- [20] da Silva A., Young C, Levitus S., "Revised wind stress over the global oceans with bias corrections: Climatology and anomalies for 1945-1989.", *J. Phys. Oceanogr.*, **23**, (1994).
- [21] Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredeell M., Saha S., White G., Woolen J., Zhu Y., Cheliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo CK., Ropelewski C., Leetma A., Reynolds R., Jenne R., “The NCEP/NCAR reanalysis project.”, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**, 437-471, (1996).
- [22] Garnier, E., Barnier B., Siefridt L., and Beranger K., “Investigating the 15 years air-sea climatology from the ECMWF re-analysis project as a surface boundary condition for ocean models”, *Int. J. of Climatol.*, **20**, 1563-1673, (2000).
- [23] Lusquiños, A.J. and A. G. Schrott, *Corrientes en el Mar Epicontinental Argentino en invierno*. Subsecretaría de Estado de Ciencia y Técnica, Programa Nacional de Recursos Naturales Renovables, Buenos Aires, 74 pp, (1983).
- [24] Piola, A.R., E.J.D. Campos, O.O. Moller, M. Charo and C. Martinez, “Subtropical shelf front off eastern South America”, *J. Geophys. Res.*, **105**, 6565-6578, (2000).
- [25] Martos, P. and Piccolo, M. C., “Hydrography of the Argentine continental shelf between 38° and 42° S.”, *Cont. Shelf Res.*, **8 (9)**, 1043-1056, (1988).