

## CORRIENTES EN LA PLATAFORMA CONTINENTAL

por

ALBERTO R. PIOLA Y ANDRÉS L. RIVAS

### RESUMEN

En este capítulo se describen las características de las corrientes sobre la plataforma continental Argentina. Dado que son pocas las mediciones directas de corrientes adecuadas para resolver la circulación general, se analizan las corrientes en la plataforma continental sobre la base de la distribución de propiedades físico-químicas y modelos físico-matemáticos. Estos análisis indican que el flujo medio sobre la plataforma oscila entre 1 y 2 Sverdrups ( $1 \text{ Sverdrup} = 1 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) en la dirección NNE. Se presenta también una síntesis de los resultados de los estudios sobre movimientos de corto período. Asimismo se discuten los aspectos más sobresalientes de las mediciones de corrientes de largo período realizadas en la plataforma continental en las inmediaciones de  $43^\circ\text{S}$ . Las velocidades medias observadas en esta región varían entre 0,05 a 0,10 m/s, hacia el NNE en la plataforma central e interior, coincidiendo con la dirección inferida de la distribución de propiedades y modelos.

### ABSTRACT

**Currents in the continental shelf.** In this chapter the main features of the currents on the Argentine continental shelf are described. Due to the scarcity of direct current observations, adequate to resolve the mean flow, the circulation of the continental shelf is studied based on property distributions and models. These analyses indicate that the mean flow over the continental shelf varies between 1 and 2 Sverdrups ( $1 \text{ Sverdrup} = 1 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) towards the NNE. A synthesis of results of studies of higher frequency motions is also presented. The most relevant results derived from long term direct current observations on the continental shelf near  $43^\circ\text{S}$  are discussed. The mean current velocities in the inner and mid-shelf regions vary between 0,05 and 0,10 m/s towards the NNE, in agreement with the direction inferred from property distributions and models.

**Palabras claves:** Oceanografía física. Plataforma continental. Circulación. Océano Atlántico Sudoeste (Argentina).

**Key words:** Physical oceanography. Continental shelf. Circulation. Southwest Atlantic Ocean (Argentina).

### INTRODUCCIÓN

Este artículo es una síntesis de los resultados obtenidos tras varias décadas de estudios sobre la circulación en la plataforma continental del sudeste de Sudamérica, aproximadamente entre  $35$  y  $55^\circ\text{S}$ .

Los registros de corrientes en esta región son

pocos y de corta duración, dominados por fluctuaciones de alta frecuencia, inerciales y de marea, y resultan inadecuados para revelar los rasgos de la circulación general. Por este motivo, la circulación media es generalmente inferida a partir de la distribución de propiedades físico-químicas, indicadores biológicos y modelos físico-matemáticos. Estos resultados se

presentan en la siguiente sección. En esta misma se brinda una reseña sobre el origen del agua que ocupa la plataforma continental. La síntesis de la circulación general se divide en dos regiones: patagónica y del litoral bonaerense. En relación con la circulación asociada a fluctuaciones de corto período (menores que 3 días), hemos analizado los resultados basados en observaciones directas y modelos físico-matemáticos. Por último, se incluye una breve discusión y un análisis de la circulación general.

## LA CIRCULACIÓN GENERAL

### Origen del agua de plataforma

Es generalmente aceptado que el agua de la plataforma continental es de origen subantártico, diluida por descarga continental y modificada por intercambios de masa y calor con la atmósfera. El agua subantártica ingresa a la plataforma principalmente entre las Islas Malvinas y Tierra del Fuego pero es sustancialmente modificada por el aporte de aguas diluidas del Estrecho de Magallanes (Brandhorst y Castello, 1971; Lusquiños y Valdéz, 1971; Krepper, 1977). La presencia de foraminíferos subtropicales del Pacífico en el extremo norte del Pasaje de Drake sugiere además un cierto grado de mezcla entre aguas subantárticas y subtropicales del Pacífico en la formación del agua de plataforma (Boltovskoy, 1970). Las aguas del extremo norte del Pasaje de Drake, al norte del Frente Subantártico (Gordon *et al.*, 1977; Nowlin *et al.*, 1977) están diluidas por exceso de precipitación del Pacífico sudeste (ver Baumgartner y Reichel, 1975) y descarga continental de la costa oeste de América del Sur sobre la región. El flujo hacia el Atlántico o Corriente del Cabo de Hornos (Hart, 1946; Boltovskoy, 1970) está caracterizado por salinidades de 33,5 UPS (Lusquiños y Valdéz, 1971). Por otro lado, es probable que estas características presenten variaciones estacionales menores, asociadas a los períodos de deshielo y acumulación. Las aguas del extremo norte de la Corriente Circumpolar Antártica también dan origen a la Corriente de Malvinas, aunque, debido al elevado transporte de esta última, el impacto de la descarga continental no es significativo

y la salinidad de estas aguas es en general del orden de 33,75 UPS o superior (Deacon, 1933; Sievers y Nowlin, 1984; Piola y Gordon, 1989). Dado que las aguas de la plataforma tienen características termohalinas diferentes a las de la Corriente de Malvinas en el talud y que la velocidad del flujo sobre la plataforma es sustancialmente menor (tal vez 10 a 15% de aquellas), no parece adecuado llamar Corriente de Malvinas al flujo sobre la plataforma. En este artículo se referirá a estas aguas como subantárticas de plataforma.

Entre Tierra del Fuego y las Islas Malvinas existen regiones relativamente profundas (más de 400 m, Servicio de Hidrografía Naval, 1976; GEBCO, 1981) y la circulación parece seguir los complejos contornos de la batimetría, describiendo uno o más giros ciclónicos y anticiclónicos (Krepper y Rivas, 1979a; Zyryanov y Severov, 1979; Georgi y Piola, 1981; Piola y Gordon, 1989; Peterson y Stramma, 1991). El flujo en regiones profundas y cerca del talud es relativamente rápido comparado con el que se produce sobre la plataforma y la densidad de estas aguas es superior a las de la plataforma ubicada al norte y al oeste. Estas aguas fluyen hacia el este al sur de las Islas Malvinas para reencontrarse con el flujo principal de la corriente de Malvinas cerca de 53°S 56°W. La influencia de estas aguas sobre la plataforma continental es escasa (Krepper y Rivas, 1979a).

### Plataforma patagónica

Al sur de 42°S el flujo superficial medio anual de calor es hacia el mar y la evaporación supera a la precipitación (Höflich, 1984). Al norte del Estrecho de Magallanes la descarga continental es escasa y produce sólo un efecto local en las distribuciones de salinidad. En consecuencia, es de esperar un progresivo aumento de salinidad y temperatura en la dirección del flujo. Los vientos predominantes del oeste durante todo el año inducen una circulación media hacia el NNE en la capa de Ekman de superficie. La escasa descarga continental y la pequeña variación estacional de la salinidad hacen de esta última un excelente parámetro para inferir la circulación.

En la boca del Estrecho de Magallanes se observa un mínimo de salinidad ( $S < 32,5$  UPS) que se extiende

hacia el NNE próximo a la costa hasta 47°S para luego separarse de ésta y ubicarse en la plataforma central (Brandhorst y Castello, 1971; Lusquiños y Valdéz, 1971; Lusquiños, 1971a). Esta es la denominada Corriente Patagónica (Brandhorst y Castello, 1971). El mínimo de salinidad ( $S < 33,6$  UPS) se detecta frente a Mar del Plata (38°S) entre 140 y 180 km de la costa. Empleando cálculos volumétricos, despreciando la evaporación y posibles variaciones estacionales del deshielo, Lusquiños (1971a) estimó una velocidad media de 0,26 m/s en la boca del estrecho. Krepper (1977) y Krepper y Rivas (1979a) concluyeron que el aumento de salinidad hasta unos 200 km al este de la boca del Estrecho de Magallanes se debe en parte a la difusión turbulenta horizontal. Sin embargo, su extensión hacia el norte debe estar asociada a la advección en esa dirección.

La distribución horizontal de propiedades físico químicas (Brandhorst y Castello, 1971; Krepper, 1977; Krepper y Rivas, 1979a; Piola y García, 1993; Guerrero y Piola, en esta obra) y la distribución y abundancia de microorganismos planctónicos (Balech, 1949, 1965, 1986; Boltovskoy, 1959, 1968, 1970, 1981) sugieren la existencia de una corriente media permanente en la dirección NNE. La circulación geostrofica total de Reid (1989) también indica una componente del flujo hacia el norte sobre la plataforma continental al sur de 40°S. La velocidad aumenta en general hacia el talud como consecuencia de la mayor intensidad del viento y el mayor gradiente horizontal de densidad en esa región (ver Lusquiños y Schrott, 1983; Forbes y Garraffo, 1988; Bakun y Parrish, 1991; Rivas, 1994; Rivas y Frank Langer, 1996). El límite exterior de las aguas de plataforma en la región patagónica es aproximadamente el de la isohalina de 33,7 UPS (Thomsen, 1962); sobre el talud continental se encuentran salinidades superiores a 33,8 UPS asociadas al agua subantártica "pura" de la corriente de Malvinas.

La falta de observaciones directas de corrientes en la plataforma continental alentó el desarrollo de estimaciones teóricas de la circulación. Zyryanov y Severov (1979) desarrollaron un modelo lineal, bidimensional y calcularon la circulación media sobre la plataforma y la Cuenca Argentina. Como forzante usaron el campo de densidad para verano (diciembre -

febrero) e invierno (julio - septiembre), estimado a partir de datos de temperatura y salinidad promediados en elementos de 1° de latitud por 1° de longitud. Sobre la plataforma los resultados muestran un flujo intenso en dirección NNE con velocidades que en superficie llegan hasta 0,30 m/s en las proximidades del talud. La solución también muestra una serie de recirculaciones anticiclónicas alrededor de las Islas Malvinas, posiblemente guiadas por la batimetría, y, con menor intensidad, al este del Golfo San Jorge.

Lusquiños y Schrott (1983) presentan un modelo bidimensional, lineal y estacionario para estimar la circulación invernal forzada por los gradientes horizontales de densidad y el viento zonal climatológico. El modelo considera tres capas: dos de Ekman en la superficie y el fondo, y una intermedia, geostrofica, cuyo dominio es el sector comprendido entre 40° y 50°S. Sobre estas bases calculan un flujo en dirección NNE en superficie que rota en sentido antihorario y se atenúa con la profundidad. La intensidad de la corriente aumenta hacia el norte y, en menor medida, desde la costa hacia el talud. Las mayores intensidades, obtenidas en el sector norte, se deben al incremento de los gradientes de densidad que compensan y superan la disminución de la tensión del viento. En superficie, las velocidades estimadas fluctúan entre 0,20 y 0,28 m/s. A 50 m de profundidad las máximas velocidades en dirección NNE son de unos 0,13 m/s mientras que en el sector sur la dirección es SE y las intensidades máximas alcanzan los 0,06 m/s.

Forbes y Garraffo (1988) estiman la circulación de verano e invierno en la plataforma con un modelo lineal, unidimensional, forzado con el gradiente horizontal de densidad y el viento de Helleman y Rosenstein (1983). Los resultados indican un transporte hacia el NE, del orden de 1,5 Sv (1 Sv = 106 m<sup>3</sup>/s), mayor en el norte de la plataforma que en el sur, siendo esta variación latitudinal menos marcada en verano. En el sector norte y central de la plataforma el transporte en invierno es aproximadamente un 40% mayor que en verano. Por el contrario, en el sector sur el transporte en invierno es algo inferior que el calculado para el verano. En invierno las velocidades superficiales fluctúan entre 0,10 y 0,17 m/s y las velocidades promediadas verticalmente varían entre

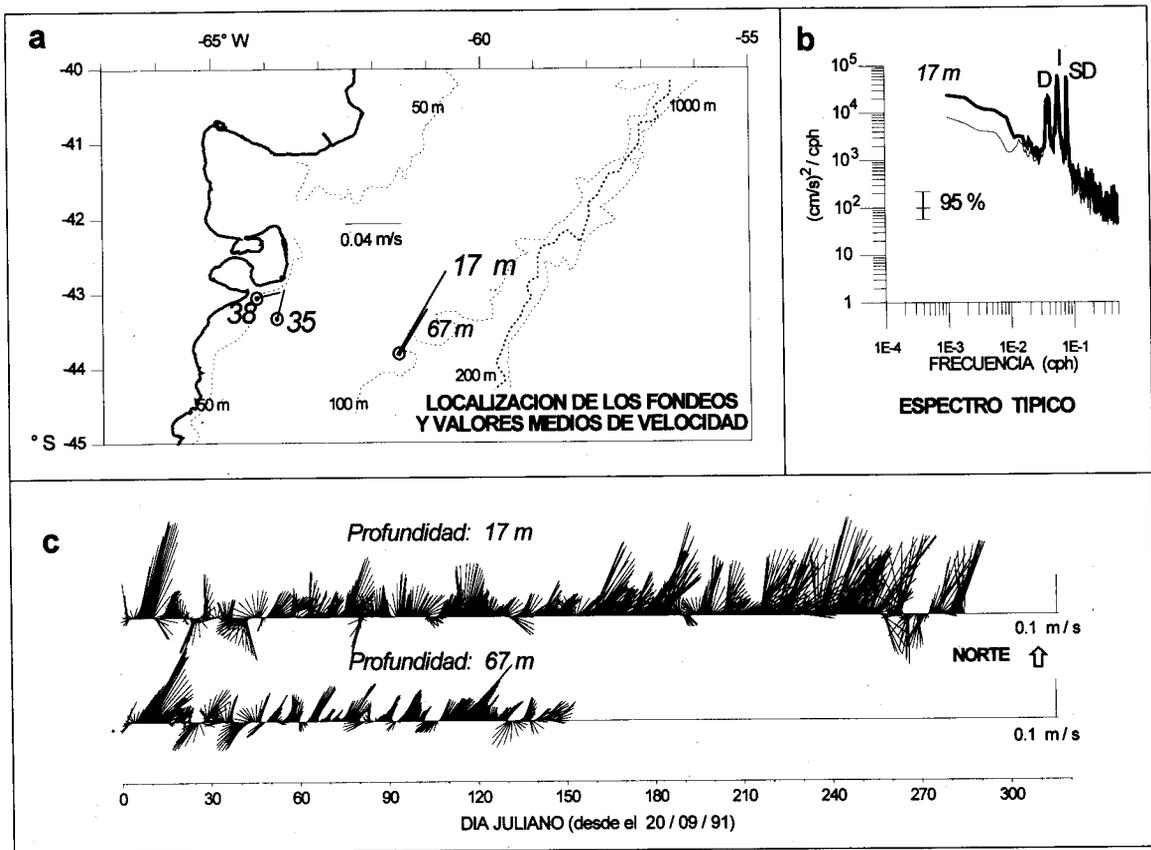


Figura 1: Observaciones directas de corrientes en la plataforma continental realizadas entre septiembre de 1991 y agosto de 1992; (adaptada de Rivas, en prensa). a: Localización de los fondeos y vectores de velocidad media; también se indican las isobatas de 50, 100, 200 y 1000 m. b: Espectro de potencia de la velocidad en el fondeo ubicado a 17 m de profundidad; se indican los picos de densidad espectral de frecuencia diurna (D), inercial (I) y semi-diurna (SD); la barra vertical indica el nivel de confianza de 95% de la estimación espectral. c: Series de tiempo del vector velocidad a 17 y 67 metros de profundidad próximos a la isobata de 100 m; el eje temporal está expresado en días julianos relativo al inicio de las observaciones; los datos han sido filtrados con un filtro pasa bajos para periodos mayores que 1,5 días. Nótese que la escala de velocidad en el panel (a) y (c) no son iguales.

0,04 y 0,07 m/s para el sector norte y entre 0,01 y 0,04 m/s en el sur. En verano las velocidades superficiales calculadas son del orden de 0,10 m/s y los promedios verticales fluctúan entre 0,04 m/s en el norte y 0,025 m/s en el sur. El modelo permite estimar la contribución de cada forzante al transporte, pone en evidencia que el viento es el mecanismo dominante y que sólo es necesario considerar la componente barotrópica del gradiente de densidad, es decir las variaciones horizontales de la densidad media de la

columna de agua.

Los datos históricos de temperatura del sector de la plataforma comprendido entre 40 y 50°S, promediados sobre elementos de 1° x 1° y en el tiempo, son empleados por Rivas (1994) para calcular el campo geostrofico de velocidades, modificado para satisfacer la conservación de calor. Los resultados muestran un flujo en dirección NNE con velocidades promediadas en la vertical del orden de los 0,02 m/s que crecen hacia el norte. Posteriormente, en la misma región,

Rivas y Frank Langer (1996) estimaron la circulación promediada verticalmente que satisface la conservación de masa y calor. Concluyeron que en general el flujo es en dirección NNE con velocidades medias que no superan los 0,10 m/s y se incrementan hacia el norte y hacia el talud. La solución muestra una señal estacional en la circulación con un flujo más intenso y bien definido en dirección NNE en verano y otoño y más débil y variable en invierno y primavera. Asociando los términos invierno y verano a la ausencia o presencia de estratificación vertical se muestra que este modelo de cajas predice una intensificación del transporte cuando la columna de agua está mezclada (entre abril y septiembre), en coincidencia con la estimación de Forbes y Garraffo (1988).

Recientemente Glorioso y Flather (1995 y en prensa) aplicaron un modelo barotrópico, no lineal, en la región comprendida entre el meridiano de 55°W, el paralelo de 56°S y la costa de Sudamérica. Fijando la elevación de la superficie libre en las fronteras abiertas del dominio con los valores estimados para ocho componentes principales de marea, emplean el modelo para calcular las corrientes de marea. Forzando el modelo con los valores de la altura de la superficie libre derivados de FRAM (The Fine Resolution Antarctic Model Group, 1991) para incluir los efectos de la Corriente de Malvinas y la tensión del viento, estiman la circulación barotrópica media anual en la plataforma (Glorioso y Flather, 1995) y la circulación durante el pasaje de un centro ciclónico (Glorioso y Flather, en prensa). Los resultados muestran un flujo general en dirección NNE significativamente afectado por la topografía, el que se intensifica hacia el norte a medida que la plataforma se hace más angosta. En una sección transversal ubicada en 37°S estiman un transporte meridional de 4,6 Sv. En la Bahía Grande (prov. Santa Cruz) el modelo produce un giro anticiclónico centrado en 53°S-66°W cuyo radio es del orden de los 190 km. También aparece un flujo relativamente intenso hacia el N al este y al oeste de las Islas Malvinas.

Entre septiembre de 1991 y agosto de 1992 se realizaron las únicas observaciones directas de corrientes de larga duración, disponibles sobre la plataforma abierta. Los fondeos se ubicaron sobre una línea entre la boca del Golfo Nuevo y 43°45'S,

61°31'W (Balestrini *et al.*, en prensa; Rivas, en prensa). El fondeo instalado sobre la isobata de 100 metros indicó una corriente media de 0,065 m/s a 17 metros de profundidad y 0,04 m/s a 67 metros de profundidad, ambos con dirección aproximada 030°, en coincidencia con otras estimaciones disponibles y paralelo al borde exterior de la plataforma (Figura 1a). Los máximos valores de velocidad (> 0,20 m/s) y direcciones más estables (hacia el NNE) fueron registrados entre principios de febrero y principios de junio de 1992 (Figura 1c; día juliano relativo 140 a 250). Los otros fondeos, instalados en la plataforma interior, indican velocidades medias menores, del orden de 0,02 m/s hacia el ENE en la boca del Golfo Nuevo y hacia el NNE a 40 km al SE de la boca. Los espectros de velocidad de estos registros son rojos, con una disminución gradual de energía con el aumento de la frecuencia, pero presentan picos de máxima energía en la frecuencia diurna, inercial y semidiurna (Figura 1b; Rivas, en prensa). El 80% de la energía cinética observada (proporcional al cuadrado del módulo de la velocidad) está asociada a períodos menores que 30 horas.

En los golfos San Jorge, Nuevo, San José y San Matías, especialmente en este último (Rivas, 1990), la geometría de la boca restringe el intercambio con el mar abierto y sus aguas resultan más eficientemente influidas por el forzado atmosférico. Mientras el flujo superficial de calor cambia de sentido a lo largo del año, produciendo incremento o descenso de la temperatura en diferentes épocas, el flujo de agua dulce es siempre hacia la atmósfera dado que la evaporación supera a la precipitación (Scasso y Piola, 1988). Estas características del flujo atmosférico y la limitada renovación de sus aguas producen una mayor amplitud térmica anual en los golfos que en el mar abierto (Krepper y Bianchi, 1982; Scasso y Piola, 1988; Rivas, 1990) y máximos relativos de salinidad en el interior (Brandhorst y Castello, 1971; Carreto *et al.*, 1974; Scasso y Piola, 1988; Rivas y Beier, 1990). En verano la circulación en la parte norte del Golfo San Matías esta ligada a un giro ciclónico (Piola y Scasso, 1988). Observaciones directas de corrientes de 70 días de duración efectuadas en el noreste de este golfo (Framiñan *et al.*, 1991) indican velocidades medias de 0,14 m/s en la dirección 12° a 25 metros de

profundidad (Piola *et al.*, en preparación). El modelo Cox/CIMA aplicado en los golfos norpatagónicos, forzado con los vientos de estaciones meteorológicas costeras y los flujos superficiales de calor y sal (Beier, *et al.*, 1989; Beier y Akaprahamyan, 1991), también muestra que la circulación en el Golfo San Matías está dominada por dos giros, uno ciclónico al norte y otro anticiclónico al sur. Estos giros inducen el ingreso de agua más fría y menos salina por el sur y el egreso de agua más cálida y salina por el norte. En el Golfo Nuevo, este modelo también predice la formación de un giro anticiclónico en el sur y otro ciclónico más pequeño en el norte.

Bruno y Couto (1976), en la que posiblemente sea la primera simulación numérica de la circulación oceánica realizada en el país, aplicaron al Golfo Nuevo un modelo numérico de geometría muy simplificada y donde la circulación es forzada por un viento analítico. La simulación de la circulación media del Golfo Nuevo en octubre con un modelo de una capa produce la formación de un giro anticiclónico que transporta unos  $25 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$  y la formación de otros giros menores (Barros y Krepper, 1977). La región fue posteriormente estudiada por Rivas (1989) con un modelo bidimensional forzado por vientos variables. La solución muestra corrientes intensas paralelas a las isobatas en la dirección del viento en las regiones costeras y un flujo de retorno más débil en el interior.

Las observaciones directas de corrientes efectuadas en el Golfo Nuevo (Lanfredi y Vara, 1970; Lanfredi, 1974; Krepper y Rivas, 1979b; Rivas, 1983), por tratarse de registros costeros y/o de muy corta duración, no permiten extraer conclusiones sobre la circulación media.

### El litoral bonaerense

En el litoral bonaerense, al norte de  $41^\circ\text{S}$ , el forzante atmosférico difiere de la región patagónica dado que, en promedio, la intensidad del viento se reduce hacia el norte y la dirección presenta variaciones estacionales significativas. Por otro lado, la precipitación excede a la evaporación en aproximadamente  $50 \text{ mm/año}$  (Höflich, 1984) y la descarga continental más al norte es apreciable. Para el Río de la Plata solamente se estima una descarga media anual

de entre  $15$  y  $20 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$  y en ocasiones extraordinarias puede duplicar este valor (Guerrero *et al.*, 1997). La descarga media anual de Lagoa dos Patos ( $32^\circ\text{S}$ ) oscila entre un 5 y un 10% de aquellas (Möller *et al.*, 1991).

Existen discrepancias en cuanto al sentido y la magnitud de las corrientes en la región. Los modelos numéricos que incluyen el efecto del viento medio y del campo de masa (Zyryanov y Severov, 1979; Lusquiños y Schrott, 1983; Forbes y Garraffo, 1988; Webb *et al.*, 1991; Semtner y Chervin, 1992) indican la existencia de un flujo medio hacia el NNE con velocidades superficiales del orden de  $0,10 \text{ m/s}$  entre la costa y el talud. Sobre la base del análisis de la distribución de temperatura y salinidad obtenidas en noviembre de 1968, Lusquiños (1971b) sugiere el mismo sentido de circulación. Sin embargo, en ocasiones, la influencia de aguas del Río de la Plata se manifestaría también hacia el sur hasta la latitud de Mar del Plata (Angelescu y Boschi, 1959; Negri *et al.*, 1992). Recientemente Guerrero *et al.* (1997) muestran, para el período de primavera y verano, una descarga media del Río de la Plata con dirección sur. La misma resulta forzada por vientos dominantes del sector marítimo y alcanza la latitud de  $37^\circ \text{ S}$ .

Analizando datos biológicos y ambientales, Balech (1949, 1965, 1971) también infiere un flujo hacia el NNE pero propuso la existencia de una contracorriente hacia el SSW en verano a la que denominó Deriva Cálida Costera. Las aguas cálidas alcanzarían el litoral bonaerense en octubre, la península de Valdés en enero y, esporádicamente, Cabo Blanco, al sur del Golfo San Jorge, en febrero. Este flujo estaría compuesto por aguas de origen subantártico las que, tras absorber calor más al norte, se mezclarían con proporciones menores de agua subtropical costera explicando, de ese modo, la presencia de organismos planctónicos subtropicales en la región sur (Balech, 1971, 1986). Eventualmente, las aguas cálidas del sur del litoral bonaerense estarían asociadas a intrusiones de la Corriente de Brasil (Balech, 1965, 1986).

También empleando principalmente indicadores biológicos, Boltovskoy (1970, 1981) sugiere que la presencia de aguas cálidas en el litoral bonaerense se restringe al norte de los  $40^\circ\text{S}$  y que la misma se debe

principalmente al calentamiento estacional. La aparición de especies subtropicales en la región costera se debería a la penetración de una rama occidental de aguas subtropicales al oeste de la Corriente de Malvinas que llegaría a la zona costera por efecto del viento y por *eddies* a los que Boltovskoy denomina "movimientos circulares".

Analizando la distribución climatológica de temperatura entre 38° y 42°S, Martos y Piccolo (1988) sugieren también la existencia de un flujo hacia el SSW sobre la plataforma exterior durante la primavera y el verano.

Bakun y Parrish (1991) analizaron la distribución climática bimensual de temperatura superficial e interpretaron ciertas "recurvaturas" de las isotermas, en particular entre 40° y 45°S, como evidencia de una contracorriente sobre la plataforma central. Esta situación es aparente en el bimestre diciembre-enero (Fig. 4e de Bakun y Parrish, 1991). El esquema de circulación de las aguas de Severov (1990) presenta también un flujo en dirección SSW en la plataforma al N de 46°S, al que denomina Flujo Argentino. Este flujo estaría compuesto principalmente por aguas de origen subtropical. A esa latitud se produciría el encuentro con la rama "occidental de la Corriente de Malvinas", es decir, el agua subantártica de plataforma. Dentro de este esquema el agua subantártica de plataforma converge con el eje de la corriente de Malvinas (denominada Corriente Oriental de Malvinas por Severov, 1990) entre 45° y 48°S.

Carreto *et al.* (1995) analizaron los datos físico-químicos obtenidos entre 1987 y 1989 en ocho campañas realizadas a lo largo del ciclo anual en una sección transversal a la plataforma ubicada frente a Mar del Plata, concluyendo que la región está cubierta por aguas de origen subantártico en otoño e invierno y por aguas de la región costera del Río de la Plata en primavera. Esta situación requiere de un flujo hacia el sur entre 36° y 38°S, por lo menos en la capa superficial donde se encuentran las aguas diluidas del Río de la Plata. Este flujo no ocurre como un proceso continuo y sería débil o inexistente en verano (Carreto *et al.*, 1995). Sin embargo Guerrero *et al.* (1997), basándose en 30 años de datos (con 15 campañas en primavera y verano), muestran una descarga estacional con dirección sur, forzada por el campo medio de

vientos, que alcanza los 37° S durante primavera y verano. Debido a que el área costera está dominada por especies planctónicas de aguas cálidas durante todo el año, Lange (1985) concluyó que esta región está alimentada por aguas subtropicales. La plataforma central estaría dominada por especies de diatomeas de agua cálida pero fuertemente influida por especies subantárticas, asociadas a intrusiones de la Corriente de Malvinas sobre la plataforma continental (Lange, 1985).

### OBSERVACIONES DE CORRIENTES DE CORTO PERÍODO. CORRIENTES DE MAREA, INERCIALES Y OTRAS FLUCTUACIONES DE ALTA FRECUENCIA

Lanfredi y Vara (1970), Lanfredi y Capurro (1971) y Lanfredi (1972) realizaron las primeras observaciones directas de corrientes sobre la plataforma continental, en el Golfo Nuevo y frente a Mar del Plata. En noviembre y diciembre de 1966 realizaron mediciones de 1 a 2 días de duración en tres puntos ubicados entre 38°-39°S y 56°-57°W (Lanfredi y Capurro, 1971). Los datos indican direcciones e intensidades variables de acuerdo con el ciclo de mareas, con un promedio que varía entre 0,10 m/s y 0,16 m/s hacia el este y norte. Una experiencia similar fue realizada en mayo y julio de 1968 (Lanfredi, 1972). Estos registros tienen una duración de tres días aproximadamente y son igualmente variables. Los datos del fondeo ubicado sobre la isobata de 84 metros indican velocidades medias de 0,12 m/s hacia el NNE. En la plataforma central, sobre la isobata de 58 metros los registros indican velocidades más altas (0,25 a 0,30 m/s) hacia el SSE (212°) y hacia el SW (148°) al SW de Mar del Plata. Estos tres registros presentan poca variación en intensidad y dirección de la corriente con la profundidad. Más recientemente, en la plataforma interior próxima al estuario de Bahía Blanca, Piccolo *et al.* (1994) realizaron mediciones de corrientes por un período de 35 horas registrando valores máximos de velocidad de 0,65 m/s. Estos datos indican una clara rotación de la velocidad, en sentido horario, evidentemente asociada a las mareas.

Palma y Serman (comunicación personal<sup>1</sup>) aplicaron un modelo de elementos finitos, bidimensional, integrado verticalmente para la componente M2, para predecir el flujo de marea en la región de la Península de Valdés y las modificaciones que éste sufriría ante la instalación de una usina mareomotriz en el Istmo Ameghino. Dragani *et al.* (1994) elaboraron un modelo numérico para la componente M2 de mareas en Golfo Nuevo. El modelo reproduce correctamente la amplitud y la fase de la altura observada en Puerto Madryn, Puerto Pirámide y Punta Ninfas pero sobreestima la magnitud y produce una diferencia de fase de 40° para la velocidad. En la boca del golfo las elipses de marea del modelo concuerdan con las de un registro de corrientes de 150 días de duración (ver Balestrini *et al.*, en prensa; Rivas, en prensa). Palma (1994) ha desarrollado un modelo de fronteras variables y lo ha aplicado para simular las planicies de marea en la ría de Bahía Blanca y en la Bahía de San Sebastián.

En la plataforma patagónica la amplitud de las mareas es de las más altas del mundo y genera fuertes corrientes que se constituyen en la componente más energética del flujo (Figura 1b; Rivas, en prensa). Las dimensiones de la plataforma patagónica entre Cabo de Hornos y los 40°S, son muy favorables para la resonancia de la marea semidiurna pues su ancho es comparable a un cuarto de la longitud de onda. El marcado contraste entre las amplitudes registradas al norte y al sur de aproximadamente 41°S, indujeron a Webb (1976) a asumir que sólo una pequeña fracción de la energía se propaga hacia el norte, evidencia de la gran disipación que tiene lugar en el sector sur. Es conocido que las zonas de alta productividad biológica están usualmente asociadas a sistemas frontales y que en zonas someras con mareas de gran amplitud la fricción con el fondo genera frentes que separan la región estratificada, potencialmente más rica en nutrientes, de la verticalmente homogénea (Simpson y Hunter, 1974). Glorioso y Flather (1995) calcularon la disipación debida a la fricción con el fondo y la relacionaron con el parámetro de estratificación

( $\log h/u^3$ , Simpson y Hunter, 1974). De ese modo, identificaron la existencia de sistemas frontales al norte de la península de Valdés, en ambos extremos del Golfo San Jorge, a lo largo de casi toda la costa comprendida entre 50°S y la Isla de los Estados, alrededor de las Islas Malvinas y, con menos intensidad, en el Banco Burdwood. En las regiones costeras y en la zona próxima al talud las interacciones no lineales de la marea con el fondo pueden conducir a la transferencia de energía a escalas temporales mayores, y a la generación de corrientes residuales significativas. Este mecanismo sería parcialmente responsable de la circulación permanente alrededor del banco Burdwood (Garraffo, comunicación personal<sup>2</sup>, 1984; Glorioso y Flather, 1995) y en puntos salientes de la costa patagónica (Glorioso y Flather, 1995).

## DISCUSIÓN

Los registros de corrientes de corta duración son apenas adecuados para establecer las características básicas del flujo asociado a las fluctuaciones de alta frecuencia (mareas e inerciales) que en la plataforma continental son muy energéticas (Glorioso y Simpson, 1994; Glorioso y Flather, 1995; Rivas, en prensa). Es importante destacar que debido al carácter turbulento de la circulación oceánica, la brevedad de los registros impide relacionarlos con la circulación media.

Brandhorst y Castello (1971) sugieren que el mantenimiento del mínimo de salinidad requiere una corriente bastante estable y propusieron denominarla Corriente Patagónica. Ninguno de los modelos de circulación de la región presenta mayor velocidad a lo largo del mínimo de salinidad. La distribución de salinidad, si bien refleja la existencia de un flujo medio hacia el NNE, no requiere que la velocidad sea mayor a lo largo del eje que en el resto de la plataforma. Suponiendo un simple equilibrio entre la advección de salinidad a lo largo del mínimo (el eje x) y la difusión turbulenta en la dirección normal al mínimo (el eje y), empleando un coeficiente de difusión lateral de 100 m<sup>2</sup>/s, y  $dS/dx = 6,587 \times 10^{-7}$  UPS/m y  $d^2S/dy^2 =$

1 Elbio D. Palma, Dto. Física, Univ. Nac. del Sur, 8000 Bahía Blanca, Argentina.

2 Zulema Garraffo, National Oceanographic and Atmospheric Administration, Atlantic Ocean Marine Lab., 4600 Rickenbacker Causeway, Miami, Florida, 33149 USA.

$6,25 \times 10^{-11}$  UPS/m<sup>2</sup> estimados a partir de la distribución de salinidad en superficie, se estima una velocidad en la dirección del mínimo de salinidad del orden de 0,01 m/s. Esta estimación es mínima dado que no se ha tenido en cuenta el efecto de la evaporación sobre la plataforma. Este resultado sugiere que el nombre Corriente Patagónica (Brandhorst y Castello, 1971) podría aplicarse al flujo hacia el NNE, no específicamente al flujo a lo largo del mínimo de salinidad.

La falta de adecuadas observaciones directas de corrientes impide resolver con precisión las múltiples discrepancias sobre la dirección y la intensidad de la corriente media. La descarga continental y las marcadas variaciones estacionales afectan la distribución de propiedades y enmascaran las características de las masas de agua y sus orígenes. Por otro lado, ninguno de los modelos numéricos empleados contiene la física de los procesos de evaporación y flujo de calor a través de la superficie, descarga continental y los vientos y su variabilidad con una resolución adecuada. De hecho, sobre la base de los datos disponibles no parece posible descartar una o varias de las hipótesis existentes. Sin embargo, es útil analizar las bases de estas hipótesis.

Balech (1949) descarta el calentamiento estacional como fuente del aumento de temperatura en la región litoral basándose en la fecha temprana (octubre) y la rapidez (5°C/10 días) con la que se produce el aumento de temperatura. Los datos climatológicos de Bunker y Goldsmith (1979) indican que el flujo neto de calor de la atmósfera hacia el océano en el área aumenta de -13 W/m<sup>2</sup> en agosto a 130 W/m<sup>2</sup> en octubre. El flujo de calor requerido para producir el aumento de temperatura observado, si el mismo se manifestara en los 10 metros superiores de la columna de agua, es de 231 W/m<sup>2</sup>. Si bien este valor es alto comparado con la media climatológica, el mismo no es inaceptable en situaciones meteorológicas especiales. En condiciones de calma el calor absorbido de la atmósfera intensificaría la estratificación y conduciría a la formación de una termoclina poco profunda y a un aumento de temperatura como el observado sin requerir advección lateral de aguas cálidas. Eventualmente el efecto del viento induciría mayor mezcla vertical, la profundización de la termoclina y la consiguiente redistribución

del calor. Por lo tanto, no puede descartarse el calentamiento superficial como posible fuente del calentamiento observado en la zona litoral bonaerense.

El análisis de cuatro años (1984 a 1988) de temperatura superficial con una frecuencia de cinco días, obtenida de datos satelitales de radiación de alta resolución, revela que el mínimo de temperatura en la zona de El Rincón ocurre 10 días antes que en el litoral bonaerense al sur del Río de la Plata (Podestá *et al.*, 1991). Un análisis independiente de datos obtenidos con frecuencia semanal entre 1987 y 1989 revela además que en el área de El Rincón en octubre la temperatura superficial es mayor que en el litoral bonaerense, en consecuencia, el calentamiento observado no estaría ligado a la advección desde el norte.

La distribución de salinidad, correspondiente a la campaña de primavera, empleada por Carreto *et al.* (1995), parece un indicador más útil para revelar la posible existencia de un flujo hacia el sur con aguas influidas por la descarga del Río de la Plata. La distribución superficial de salinidad obtenida en noviembre de 1966 y 1968 durante las campañas Pesquería IX y Pesquería X sugiere que la influencia de las aguas diluidas del Río de la Plata se extiende hacia el sur próxima a la costa hasta 38°S aproximadamente. Esta situación ha sido observada con cierta frecuencia (ver Angelescu y Boschi, 1959; Negri *et al.* 1992) y está predominantemente ligada a las condiciones del viento (Guerrero *et al.*, 1997). En contraposición, la influencia del Río de la Plata también puede verse enmascarada por la penetración de las aguas diluidas ( $S < 33,6$  UPS) de la Corriente Patagónica.

Sobre la base de la bibliografía analizada hemos preparado un diagrama esquemático de las corrientes de la plataforma y la capa superior de la Cuenca Argentina occidental (Figura 2). Reconocemos que la circulación propuesta es más incierta al norte de aproximadamente 42°S donde los vientos son menos intensos y más variables. Hemos optado por indicar un flujo medio hacia el NNE. En este sentido hemos dado mayor peso a la circulación inferida a partir de la distribución de parámetros físico químicos y las soluciones numéricas, que a aquellas deducidas a partir de indicadores biológicos. Debe tenerse en cuenta que la circulación oceánica está dominada por fluctua-

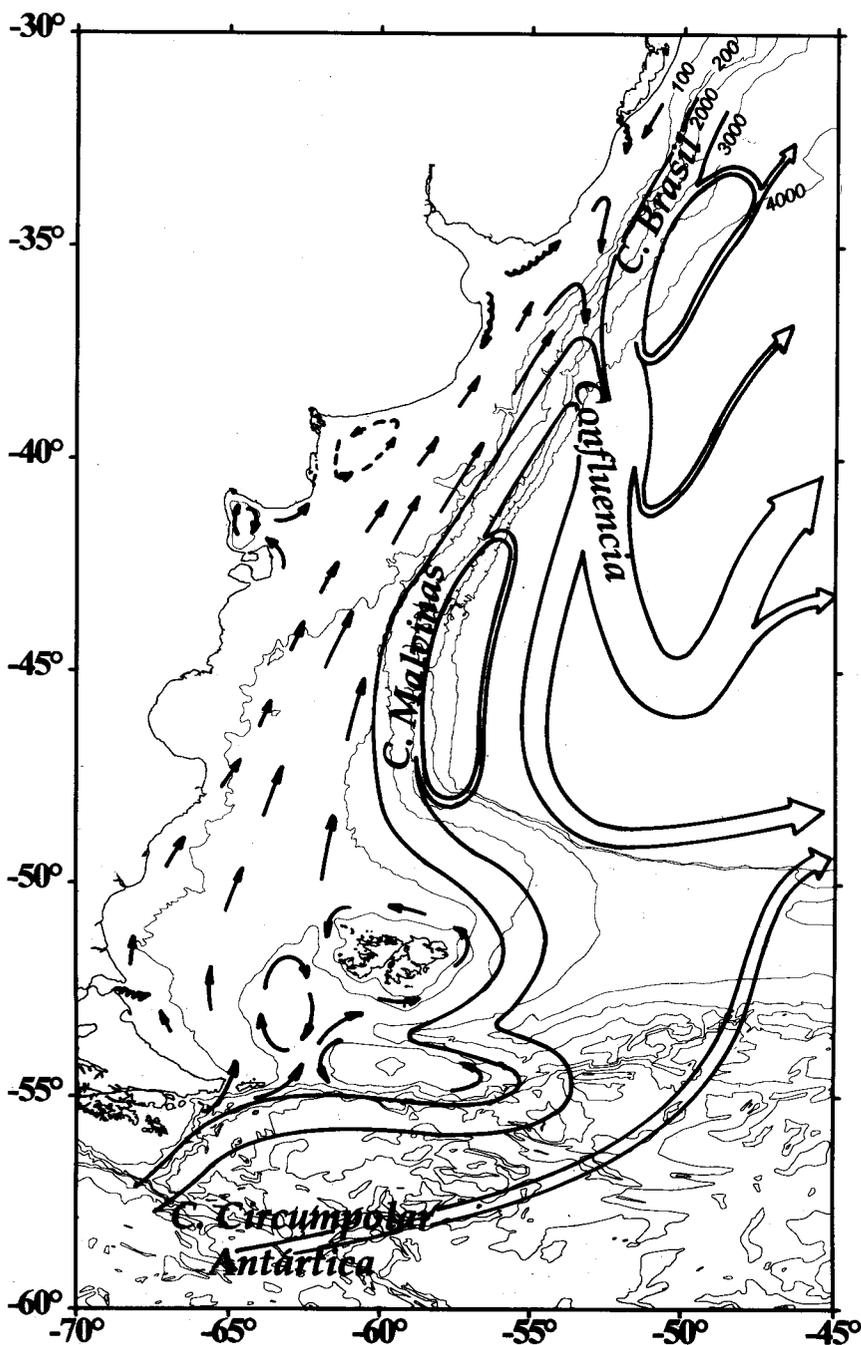


Figura 2: Esquema de la circulación sobre la plataforma continental. En el agua profunda, más allá del talud continental, la circulación al norte de 50°S está basada en la Figura 1 de Confluence Principal Investigators (1990); al sur de 50°S está basada en Piola y Gordon (1989). Las flechas quebradas indican la descarga continental del Estrecho de Magallanes, Río de la Plata y Lagoa dos Patos. Las flechas cortadas (por ejemplo en El Rincón) indican regiones donde la dirección e intensidad del flujo son más inciertas.

ciones de baja frecuencia (entre 10 y 100 días; Wunsch, 1972); en consecuencia, la determinación de la circulación media con algún valor estadístico, y aún de la circulación estacional, requiere mediciones de una longitud de varios años. Más aún, perturbaciones como El Niño/Oscilación del Sur (Rasmusson y Carpenter, 1982) han revelado la existencia de significativas fluctuaciones interanuales en parámetros atmosféricos y oceánicos. Recientemente se ha demostrado que perturbaciones de la presión atmosférica, el viento, la cobertura de hielo marino austral y la temperatura superficial del océano se propagan con la Corriente Circumpolar Antártica con un período de aproximadamente 4 años (White y Peterson, 1996) y afectarían la totalidad de la plataforma continental al sur de 30°S. Estas variaciones seguramente alteran también los balances calórico e hídrico y el patrón e intensidad de la circulación oceánica en la región. Por lo tanto, es necesario incrementar las observaciones de corrientes de largo período e implementar modelos de circulación sobre la plataforma que incluyan el viento, el intercambio de agua y calor con la atmósfera y la interacción con el océano abierto. Adicionalmente, se ha demostrado que las tendencias de temperatura a largo plazo tienen también un impacto potencial sobre la abundancia de zooplancton (Roemmich y McGowan, 1995), de modo que también los estudios biológicos deben realizarse sobre escalas temporales que abarquen las fluctuaciones de largo período.

### AGRADECIMIENTOS

Entre 1950 y 1975 se realizaron grandes esfuerzos por mejorar el conocimiento oceanográfico del mar argentino. Durante ese período varios investigadores dedicaron años de estudios al tema; en la medición directa de corrientes oceánicas se destacó la labor pionera de Néstor W. Lanfredi, a cuya memoria dedicamos este trabajo.

### BIBLIOGRAFÍA

ANGELESCU, V. & BOSCHI, E.E. 1959. Estudio biológico pesquero del langostino de Mar del Plata en conexión con la Operación Nivel Medio. Serv.

Hidrog. Naval (Buenos Aires), H-1017, 135 pp + mapas y láminas.

- BAKUN, A. & PARRISH, R. H. 1991. Comparative studies of coastal pelagic fish reproductive habitats: the anchovy (*Engraulis anchoita*) of the southwestern Atlantic. ICES J. Mar. Sci., 48: 343-361.
- BALECH, E. 1949. Estudio crítico de las corrientes marinas. Physis (Buenos Aires), 20: 159-164.
- BALECH, E. 1965. Nuevas contribuciones a los esquemas de circulación oceánica frente a la Argentina. An. Acad. Brasil. Ciências, Suplemento, 159-166.
- BALECH, E. 1971. Notas históricas y críticas de la oceanografía biológica argentina. Serv. Hidrog. Naval (Buenos Aires), H-1027, 57 pp.
- BALECH, E. 1986. De nuevo sobre la oceanografía frente a la Argentina (Buenos Aires). Serv. Hidrog. Naval, H-645, 23 pp.
- BALESTRINI, C.F., RIVAS, A.L., PIOLA, A.R., BIANCHI, A.A. & GUERRERO, R.A., en prensa. Corrientes en la plataforma continental argentina (43°S). Serv. Hidrog. Naval (Buenos Aires).
- BARROS, V.R. & KREPPER, C.M. 1977. Modelo estacionario del Golfo Nuevo. Acta Oceanographica Argentina, 1 (2): 11-29.
- BAUMGARTNER A. & REICHEL, E. 1975. The world water balance. Elsevier, New York, 179 pp.
- BEIER, E.J. & AKAPRAHAMYAN, R. 1991. Variación estacional de la circulación inducida por el viento en el Golfo San Matías aplicando el modelo Cox/CIMA. Resúmenes de las Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar 1991, Puerto Madryn (Argentina), 109.
- BEIER, E.J., FIORE, M. & ORLANSKI, I. 1989. Circulación estacional en los golfos norpatagónicos. Resúmenes de las Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar 1989, Puerto Madryn (Argentina), 86.
- BOLTOVSKOY, E. 1959. La corriente de Malvinas (un estudio en base a la investigación de foraminíferos). Serv. Hidrog. Naval (Buenos Aires), H-1015, 96 pp + 3 láminas.
- BOLTOVSKOY, E. 1968. Hidrología de las aguas superficiales en la parte occidental del Atlántico sur. Rev. Mus. Cs. Nat. "B. Rivadavia", Hidrobiol.,

- 2: 199-224.
- BOLTOVSKOY, E. 1970. Masas de agua (característica, distribución, movimientos) en la superficie del Atlántico Sudoeste, según indicadores biológicos. Serv. Hidrog. Naval (Buenos Aires), H-643, 99 pp + 2 láminas.
- BOLTOVSKOY, E. 1981. Masas de agua en el Atlántico Sudoccidental. En: Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental, D. Boltovskoy, editor, Inst. Nac. Inv. Des. Pesquero, Mar del Plata, 227-237.
- BRANDHORST, W. & CASTELLO, J.P. 1971. Evaluación de los recursos de anchoíta (*Engraulis anchoita*) frente a la Argentina y Uruguay. I. Las condiciones oceanográficas, sinopsis del conocimiento actual sobre la anchoíta y el plan para su evaluación. Proy. Des. Pesq. FAO, Publicación N° 29, 63 pp.
- BRUNO, D. & COUTO, A. 1976. Circulación media generada por el viento en el Golfo Nuevo. Acta Oceanographica Argentina, 1 (1): 71-107.
- BUNKER, A.J. & GOLDSMITH, R.A. 1979. Archived time series of Atlantic Ocean meteorological variables and surface fluxes. Woods Hole Oceanographic Institution, Techn. Rep., WHOI 79-3: 1-29.
- CARRETO, J.I., CASAL, A.B., LABORDE, M.A. & VERONA, C.A. 1974. Fitoplancton, pigmentos y condiciones ecológicas del Golfo San Matías. Informe, Com. Inv. Cient. Prov. Buenos Aires, 10, 76 pp.
- CARRETO, J.I.; LUTZ, V.A.; CARIGNAN, M.O.; CUCCHI COLLEONI A.D. & DE MARCO, S.G. 1995. Hydrography and chlorophyll *a* in a transect from the coast to the shelf-break in the Argentinian Sea. Cont. Shelf Res., 15(2/3): 315-336.
- CONFLUENCE PRINCIPAL INVESTIGATORS, 1990. Confluence 1988-1990, An intensive study of the Southwestern South Atlantic. EOS Transactions, American Geophysical Union, 71, 1131-1137.
- DEACON, G.E.R. 1933. The hydrology of the Southern Ocean. Discovery Reports, 7: 171-238.
- DRAGANI, W.C; MAZIO, C.A. & CAVIGLIA, F.J. 1994. A numerical model of the M2 tide in Golfo Nuevo, Argentina, Geofisica, 41: 145-163.
- FRAMIÑAN, M.B., BALESTRINI C., BIANCHI, A., DEMILIO, G. & PIOLA, A.R. 1991. Datos CTD y series temporales de velocidad, temperatura y conductividad en el Golfo San Matías. Informe Técnico N°63/1991, Departamento Oceanografía. Serv. Hidrog. Naval, Buenos Aires, 41pp.
- FORBES, M.C. & GARRAFFO, Z. 1988. A note on the mean seasonal transport on the Argentinian Shelf. J. Geophys. Res., 93: 2311-2319.
- GEBCO, 1981. General bathymetric charts of the oceans. Canadian Hydrographic Service, 5.16.
- GEORGI D.T. & PIOLA, A.R. 1981. Winter hydrographic observations from the southwestern Atlantic, the northwestern Scotia Sea, and the Drake Passage. Ant. J. United States., 16: 103-105.
- GLORIOSO, P.D. & SIMPSON, J. H. 1994. Numerical modelling of the M2 tide on the northern Patagonian shelf. Cont. Shelf Res., 14: 267-278.
- GLORIOSO, P.D. & FLATHER, R.A. 1995. A barotropic model of the currents off SE South America. J. Geophys. Res., 100: 13427-13440.
- GLORIOSO, P.D. & FLATHER, R.A., en prensa. Tide and surge modelling of the Patagonian shelf. Journal of Marine Systems, special issue on the IAPSO and IUGG sessions on the circulation of marginal seas and semi-enclosed seas, Hawaii, 5-12 August 1995.
- GORDON, A.L., GEORGI, D.T. & TAYLOR, H.W. 1977. Antarctic polar front zone in the western Scotia Sea - Summer 1975, J. Phys. Oceanogr., 7: 309-328.
- GUERRERO, R.A., ACHA, M.E., FRAMIÑAN, M.E. & LASTA, C. 1997. Physical oceanography of the Río de la Plata Estuary. Cont. Shelf Res., 17 (7): 727-742.
- HART, T.J. 1946. Report on trawling survey of the Patagonian continental shelf. Discovery Reports, 23: 223-408.
- HELLERMAN, S. & ROSENSTEIN, M. 1983. Normal monthly wind stress over the World Ocean with error estimates. J. Phys. Oceanogr., 13: 1093-1104.
- HÖFLICH, O. 1984. Climate of the South Atlantic. En: Climates of the Oceans, H. Van Loon, editor, World Survey of Climatology, 15, Elsevier, 1-132.
- KREPPER, C.M. 1977. Difusión del agua proveniente del Estrecho de Magallanes en las aguas de la

- plataforma continental. *Acta Oceanographica Argentina*, 1 (2): 49-65.
- KREPPER, C.M. & RIVAS, A.L. 1979a. Análisis de las características oceanográficas de la zona austral de la plataforma continental argentina y aguas adyacentes. *Acta Oceanographica Argentina*, 2 (2): 55-82.
- KREPPER, C.M. & RIVAS, A.L. 1979b. Dinámica de las aguas costeras en Golfo Nuevo. Parte I: medición de corrientes con superficies derivantes. *Acta Oceanographica Argentina*, 2 (2): 83-106.
- KREPPER, C.M. & BIANCHI, A.A. 1982. Balance calórico del Mar Epicontinental Argentino. *Acta Oceanographica Argentina*, 3 (1): 119-133.
- LANFREDI, N.W. 1972. Resultados de mediciones de corrientes en el Atlántico Sudoccidental, Serv. Hidrogr. Naval (Buenos Aires), H-650/2.
- LANFREDI, N.W. 1974. Corrientes superficiales en aguas costeras del Golfo Nuevo. Informes Científicos del Centro Nacional Patagónico, N°1.
- LANFREDI, N.W. & CAPURRO, L.R.A. 1971. Resultados de mediciones directas de corrientes en el Atlántico Sudoccidental. Serv. Hidrogr. Naval (Buenos Aires), H-650/1.
- LANFREDI, N.W. & VARA, C.D. 1970. Mediciones directas de corrientes superficiales en el Golfo Nuevo. *Boletín del Serv. Hidrogr. Naval (Argentina)*, 7: 121-151.
- LANGE, K.B. 1985. Spatial and seasonal variations of diatom assemblages off the Argentinian coast (South Western Atlantic). *Oceanologica Acta*, 8: 361-369.
- LUSQUIÑOS, A.J. 1971a. Algunas características de las aguas de la plataforma continental argentina. en: Datos y resultados de las campañas Pesquería, Pesquería IX, S.F. Villanueva, editor. Publicación N° 10/XI, Proy. Des. Pesq., Serie Informes Técnicos, Mar del Plata.
- LUSQUIÑOS, A.J. 1971b. Algunas características de las aguas de la plataforma continental argentina. En: Datos y resultados de las campañas Pesquería, S.F. Villanueva, editor. Pesquería X, Publicación N° 10/X, Proy. Des. Pesq., Serie de Informes Técnicos, Mar del Plata.
- LUSQUIÑOS, A. & VALDÉZ, A.J. 1971. Aportes al conocimiento de las masas de agua del Atlántico Sudoccidental. Serv. Hidrogr. Naval (Buenos Aires), H 659, pp 48.
- LUSQUIÑOS, A.J. & SCHROTT, A.G. 1983. 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.
- MARTOS, P. & PICCOLO, M. C. 1988. Hydrography of the Argentine continental shelf between 38° and 42° S. *Cont. Shelf Res.*, 8 (9): 1043-1056.
- MÖLLER, O.O., JR., PAIM, P.S. & SOARES, I.D. 1991. Facteurs et mecanismes de la circulation des eaux dans l'estuaire de la Lagune dos Patos (RS, Brasil). *Bulletin de l'Institute Gol. bassin d'Aquitaine, Bordeaux*, 49, 15-21.
- NEGRI, R.M., AKSELMAN, R.A. & BENAVIDES, H.R. 1992. Floración excepcional de un dinoflagelado en aguas de Argentina y Uruguay. *Frente Marítimo*, 11: 115-122.
- NOWLIN, W.D., JR., WHITWORTH III, T. & PILLSBURY, R.D. 1977. Structure and transport of the Antarctic Circumpolar Current at Drake Passage from short term measurements. *J. Phys. Oceanogr.*, 7: 788-802.
- PALMA, E.D. 1994. Modelo hidrodinámico de contorno variable. Resúmenes del IX Coloquio de Oceanografía, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca.
- PETERSON, R.G. & STRAMMA, L. 1991. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. *Progr. in Oceanogr.*, 26: 1-73.
- PIOLA, A.R., FRAMIÑAN, M.B. & CHARO, M., en preparación. Stratification and currents in the San Matías Gulf - Argentina.
- PIOLA, A.R. & GARCIA, O.A. 1993. Atlas oceanográfico de la Cuenca Argentina occidental y la plataforma continental lindante. Serv. Hidrogr. Naval (Buenos Aires), H-607, 267 pp.
- PIOLA, A.R. & GORDON, A.L. 1989. Intermediate waters in the southwest South Atlantic. *Deep-Sea Res.*, 36: 1-16.
- PIOLA, A.R. & SCASSO L.M.L. 1988. Circulación en el Golfo San Matías. *Geoacta*, 15 (1): 33-51.
- PODESTA, G., BROWN, G.O. & EVANS, R. 1991. The annual cycle of satellite-derived sea surface temperature in the Southwestern Atlantic Ocean. *J.*

- Climate, 4 (4): 457-467.
- RASMUSSEN, E.M. & CARPENTER, T.H. 1982. Variations in tropical sea surface temperature and surface wind field associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mont. Weather Rev.*, 110: 354-384.
- REID, J.L. 1989. On the total geostrophic circulation of the South Atlantic Ocean: Flow patterns, tracers and transports. *Progr. in Oceanogr.*, 23: 149-244.
- RIVAS, A.L. 1983. Análisis de la circulación costera en Golfo Nuevo. *Acta Oceanographica Argentina*, 3 (2): 49-66.
- RIVAS, A.L. 1989. Corrientes originadas por la acción del viento y la marea en el Golfo Nuevo. *Geoacta*, 16: 185-205.
- RIVAS, A.L. 1990. Heat balance and annual variation of mean temperature in the north-patagonian gulfs. *Oceanologica Acta*, 13: 265-272.
- RIVAS, A.L. 1994. Spatial variation of the annual cycle of temperature in the Patagonian shelf between 40 and 50° of south latitude. *Cont. Shelf Res.*, 14: 1539-1554.
- RIVAS, A.L., en prensa. Current meter observations in the Argentine Continental Shelf. *Cont. Shelf Res.*
- RIVAS, A.L. & BEIER, E.J. 1990. Temperature and salinity fields in the northpatagonic gulfs. *Oceanologica Acta*, 13: 15-20.
- RIVAS, A.L. & FRANK LANGER, A. 1996. Mass and heat transport in the Argentinian Continental Shelf. *Cont. Shelf Res.*, 16: 1283-1295.
- ROEMMICH, D. & MCGOWAN, J. 1995. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California Current, *Science*, 267, 1324-1326.
- SCASSO, L.M.L. & PIOLA, A.R. 1988. Intercambio neto de agua entre el mar y la atmósfera en el Golfo San Matías. *Geoacta*, 15 (1): 13-31.
- SEMTNER, A.J. & CHERVIN, R.M. 1992. Ocean general circulation from a global eddy resolving model. *J. Geophys. Res.*, 97, 5493-5550.
- SERVICIO DE HIDROGRAFÍA NAVAL. 1976. Carta batimétrica Atlántico Sur Occidental. Serv. Hidrogr. Naval, Buenos Aires.
- SEVEROV, D.N. 1990. Particularidades de las condiciones oceanológicas del Atlántico Sudoccidental sobre la base de características temporales medias procedentes de una serie de años. *Frente Marítimo*, 6: 109-119.
- SIEVERS, H. & NOWLIN, W.D., JR. 1984. The stratification and water masses at Drake Passage. *J. Geophys. Res.*, 89: 10489-10514.
- SIMPSON, J.H. & HUNTER, J.R. 1974. Fronts in the Irish Sea. *Nature*, 250: 404-406.
- THE FINE RESOLUTION ANTARCTIC MODEL (FRAM) Group, 1991. An eddy resolving model of the Southern Ocean. *EOS Transactions, Amer. Geophys. U.*, 72, 169-174.
- THOMSEN, H. 1962. Masas de agua características del océano Atlántico. Serv. Hidrogr. Naval (Buenos Aires), H 632, 31 pp.
- WEBB, D.J. 1976. A model of continental shelf resonances. *Deep-Sea Res.*, 23: 1-15.
- WEBB, D.J., KILLWORTH, P.D., COWARD, A.C. & THOMPSON, S.R. 1991. The FRAM Atlas of the Southern Ocean. *Nat. Environm. Res. Coun.*, Swindon, UK.
- WHITE, W.B. & PETERSON, R.G. 1996. An antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea ice extent. *Nature*, 380: 699-702.
- WUNSCH, C. 1972. The spectrum from two years to two minutes of temperature in the middle thermocline off Bermuda. *Deep-Sea Res.*, 19: 577-593.
- ZYRYANOV, V.N. & SEVEROV, D.N. 1979. Water circulation in the Falkland-Patagonia region and its seasonal variation. *Oceanol.*, 19: 518-522.