

METABOLISMO RESPIRATORIO DEL MICROPLANKTON EN AGUAS DE LA PENÍNSULA ANTÁRTICA

María F. Montero¹ y Javier Aristegui¹

Abstract

We have studied the respiration of microplankton (<200µm), measured as direct oxygen consumption and electron transport system activity, during two cruises carried out in coastal waters of the Antarctic Peninsula, in December, 1991 and January, 1993. Both types of estimations were closely correlated. Therefore, enzymatic measurements were transformed to actual respiration rates. Carbon balances performed in surface waters (0-100 m) of the Bransfield Strait showed that community (microplankton) respiration represented a greater loss of carbon, as previously considered in recently published carbon flow models from the area. However, these losses were not constant. The highest respiratory activities were associated with frontal areas between different water masses of the Bransfield Strait. Our results show that it is necessary to study the spatial variability of the microplankton respiration to understand the carbon cycle in coastal Antarctic waters.

Resumen

Hemos estudiado la respiración del microplankton (<200µm), medida como consumo directo de oxígeno y como actividad respiratoria del sistema de transporte de electrones, durante dos campañas llevadas a cabo en aguas de la Península Antártica en Diciembre, 1991 y Enero, 1993. Ambos tipos de estimaciones mostraron una buena correlación, por lo que las medidas enzimáticas pudieron ser transformadas a tasas reales de respiración. Los balances de carbono llevados a cabo en aguas superficiales (0-100 m), en diferentes estaciones del Estrecho de Bransfield, mostraron que la respiración constituía una pérdida superior a lo que se ha venido considerando en modelos de carbono publicados recientemente sobre este área. Sin embargo, las pérdidas por respiración no eran constantes. En el Estrecho de Bransfield, las actividades respiratorias más elevadas se encontraron asociadas a las áreas de frente entre diferentes masas de agua. Nuestros resultados demuestran que es necesario estudiar la variabilidad espacial del metabolismo respiratorio del microplankton para poder realizar un balance acertado del ciclo del carbono en aguas costeras de la Antártida.

Key words: Antarctica, Bransfield Strait, carbon balances, microplankton respiration, spatial variability

INTRODUCCIÓN

Se considera que los flujos de carbono en el Océano Sur representan un componente cuantitativamente muy significativo del balance global del ciclo del carbono en el planeta (Smith, 1991; IGBP, 1993; pero ver Anderson *et al.*, 1991). Sin embargo, la modelización de estos flujos es muy complicada, debido a la enorme heterogeneidad espacial y temporal de la producción primaria y de los procesos involucrados en la transferencia de carbono entre los compartimentos tróficos y su transporte en la columna de agua.

Uno de los procesos más importantes a tener en cuenta a la hora de realizar un balance metabólico es la respiración del plancton. Conociendo la respiración en la capa fótica podemos

¹ Dpto. Biología, Facultad de Ciencias del Mar, Univ. Las Palmas de Gran Canaria

saber la energía necesaria por un ecosistema para mantener su estado de equilibrio, sin pérdidas ni ganancias de biomasa. A nivel global, la producción y consumo de oxígeno en los cien primeros metros de la mayoría de los océanos se encuentran prácticamente en equilibrio (ver Harrison, 1986). Esto significa que la mayor parte de la materia orgánica se oxida en las capas superficiales del océano, sin ser transferida hacia aguas profundas. Sin embargo, en determinadas áreas muy productivas, como las regiones costeras de la Antártida, puede haber un importante exceso de producción primaria sobre la respiración comunitaria que se exporta hacia profundidad (Wefer *et al.*, 1988; Honjo, 1990; Karl *et al.*, 1991).

En el Océano Sur, se han llevado a cabo diversos estudios para estimar la producción primaria aunque, debido a los distintos métodos y la resolución temporal utilizados, los resultados muestran ciertas contradicciones (e.g. Smith y Nelson, 1986; Jacques, 1989; Wefer y Fischer, 1991). Por lo que respecta a los datos que se tienen sobre respiración, éstos son muy escasos y también contradictorios. Williams (1984), en un trabajo de recopilación, cita valores de Pomeroy *et al.* (sin publicar) sobre consumo de oxígeno en la Antártida entre 0 y 0.5 mmol O₂ l⁻¹ d⁻¹, aproximadamente un orden de magnitud inferiores a los datos para otras áreas oceánicas. Esto contrasta con los valores de consumo de oxígeno publicados recientemente por Robinson y Williams (1993) (0.5-3.69 mmol O₂ l⁻¹ d⁻¹) para los primeros 100 m de la columna de agua, cerca de la Convergencia Antártica. Estos valores no difieren significativamente de los hallados en otras regiones frías, como el océano Artico (Harrison, 1986), o en aguas más templadas (Packard y Williams, 1981). En todos estos estudios la mayor parte de la respiración se debía a las fracciones más pequeñas del plancton (Williams, 1981; Harrison, 1986).

Las únicas medidas de respiración en fitoplancton para aguas costeras de la Antártida proceden de experimentos de marcado de células con ¹⁴C-bicarbonato en la luz para ver la pérdida posterior de actividad del carbono particulado en la oscuridad. Sin embargo, la interpretación de estas pérdidas como respiración del fitoplancton es muy complicada, debido a la capacidad del fitoplancton y de los microorganismos heterótrofos de fijar carbono en la oscuridad (Li y Dickie, 1991; Geider, 1992; Li *et al.*, 1993). Por ello, no es de extrañar la disparidad en los pocos resultados publicados. Tilzer y Dubinsky (1987) calculan pérdidas respiratorias por el fitoplancton inferiores al 10% de la producción bruta en aguas de la región oriental del Estrecho de Bransfield, mientras que Lancelot *et al.* (1991), dan valores de respiración del 50% de la producción bruta para fitoplancton en la zona de deshielo del Mar de Weddell y Mar de Scotia.

La falta de información sobre el metabolismo respiratorio del microplancton (<200mm) en aguas costeras de la Antártida es, por lo tanto, una dificultad añadida para la elaboración de modelos sobre flujos de carbono. Algunos autores han optado por establecer límites teóricos de respiración en fitoplancton (Huntley *et al.*, 1991a), o incluso prescindir de estos valores (Huntley *et al.*, 1991b), para elaborar modelos que les han conducido a obtener resultados polémicos (Moloney, 1992; Huntley *et al.*, 1992). En este trabajo se presentan por primera vez medidas directas de respiración y producción *in situ*, obtenidas como consumo y producción de oxígeno en poblaciones de microplancton (fitoplancton + bucle microbiano). Para ello, seleccionamos varias estaciones cerca de la Península Antártica, que representaban diferentes situaciones típicas dentro de la heterogeneidad espacial y temporal de esta región. De esta forma, se puede obtener un balance real de los flujos de oxígeno y carbono integrados en la columna de agua. Así mismo, se rea-

lizaron estimaciones de actividad ETS en numerosas estaciones repartidas por el Estrecho de Branfield, con el fin de estudiar la variabilidad espacial de la actividad respiratoria y hallar factores de conversión entre las medidas enzimáticas y las tasas reales de respiración.

MÉTODOS

AREAS DE MUESTREO

Los datos proceden de las campañas BRANSFIELD 9112 (BR91) (9 diciembre, 1991 - 8 enero, 1992) y BIOANTAR 93 (BA93) (19 enero - 17 febrero, 1993), realizadas en aguas del Estrecho de Bransfield y entrada del Estrecho de Gerlache. Las estaciones muestreadas están indicadas en la Fig.1. Durante la segunda campaña, se llevaron a cabo incubaciones *in situ* en cuatro estaciones que representaban diferentes situaciones típicas de las aguas de la Península Antártica (Fig.1B). Las estaciones fueron: (S1) aguas costeras de la Península Antártica, (S2) aguas del Estrecho de Gerlache, (S3) aguas de deshielo, cercanas al círculo polar (Bahía Hanusse, 66°44'S, 67°34'W), y (S4) aguas encalmadas en el interior de la Isla Decepción. Las condiciones variaban desde las aguas pobres (<0.5 mgCla m⁻³) y con una capa de mezcla profunda (>100m) de la estación S1, hasta las aguas estratificadas y con un florecimiento superficial de fitoplancton (>7 mgCla m⁻³ a 1 m) de la estación S4.

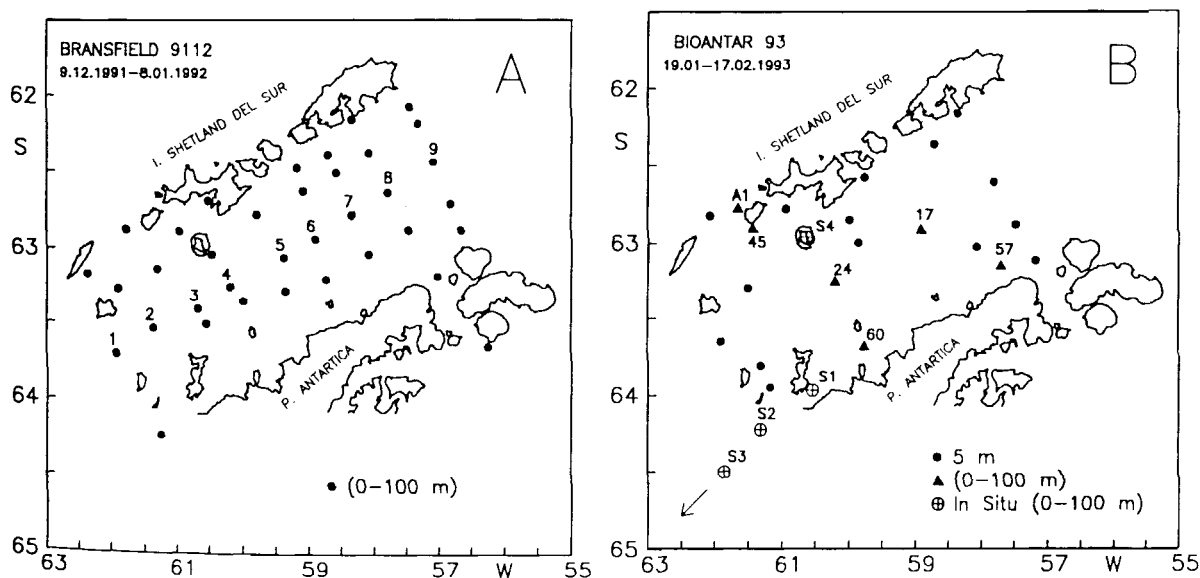


Fig.1. Mapas de estaciones de las campañas (A) Bransfield 9112 y (B) Bioantar 93. Los rangos de profundidades muestreadas están indicados en cada caso. Las estaciones numeradas corresponden a aquellas en las que se estimaron balances de carbono en la columna de agua (ver Tabla 1). La estación S3 estaba localizada más al sur (66°44'S, 67°34'W) fuera de las coordenadas de la figura.

MEDIDAS HIDROGRÁFICAS

En cada estación se obtuvieron perfiles de temperatura, salinidad y densidad a partir de los registros obtenidos mediante una sonda CTD. Durante la primera campaña se utilizó un CTD Sea Bird SB-19 (Aristegui *et al.*, 1991), mientras que en la segunda se utilizaron dos unidades, un Neil Brown MkIII y un EG&G MkV (García *et al.*, 1993). En todos los casos, los registros de temperatura y conductividad de los sensores de los CTDs fueron calibrados a partir de medidas de temperatura con termómetros de inversión y análisis de salinidad en muestras discretas. Las muestras de agua para el resto de los parámetros estudiados se recolectaron en botellas tipo "Niskin", dispuestas sobre un cable hidrográfico (primera campaña) o sobre una roseta oceanográfica (segunda campaña).

NUTRIENTES Y CLOROFILA

En todas las estaciones se tomaron muestras para el estudio de nutrientes y clorofila. En este trabajo se muestran sólo los datos de nitratos (nitratos + nitritos) y amonio disueltos en el agua de las estaciones *in situ*. Los análisis se realizaron a bordo del barco, por triplicado, mediante técnicas químicas convencionales (Parsons *et al.*, 1984).

La clorofila *a* se estimó fluorimétricamente, mediante un fluorómetro Turner Designs previamente calibrado con clorofila *a* pura (Sigma Co.), siguiendo las recomendaciones de Holm-Hansen y Riemann (1978) y Holm-Hansen *et al.* (1965). Se filtraron entre 50 y 250 ml de agua de mar a través de filtros Whatman GF/F de 25 mm, que fueron inmediatamente introducidos en viales con acetona al 90% o guardados en nitrógeno líquido hasta su posterior análisis. La extracción de los pigmentos se llevó a cabo en frío y a la oscuridad durante 24 horas. No hubo trituración de los filtros. Posteriormente, una vez atemperadas las muestras, se midió la fluorescencia de los extractos acetonícos antes y después de ser acidificados, para el cálculo de las concentraciones de clorofila *a* y feopigmentos.

En un número determinado de muestras, se llevaron a cabo estudios de fraccionamiento de clorofila. El protocolo para estos estudios fue similar al indicado anteriormente, excepto que las muestras fueron filtradas a través de filtros Nuclepore de 2mm de diámetro de poro.

PRODUCCIÓN Y RESPIRACIÓN COMUNITARIAS

En cada estación *in situ* se realizaron incubaciones para medir la producción neta comunitaria y la respiración comunitaria por diferencias de oxígeno. Las muestras se obtuvieron a 6 profundidades comprendidas entre 1 y 30 (ó 45) m de profundidad. Cada muestra de agua (correspondiente a una profundidad) se distribuía en 11 botellas de borosilicato transparente de 125 ml de volumen nominal. Cuatro botellas se utilizaron como tiempo cero (<iniciales>), tres botellas se incubaron a la luz (<claras>) y cuatro botellas se incubaron a la oscuridad (<oscurecidas>). La fijación de las muestras de agua en las botellas iniciales marcaba el inicio de las incubaciones. Las muestras encerradas en las botellas claras se incubaron durante las horas de luz solar (~13 horas) a las mismas profundidades a las que habían sido recolectadas. Para ello, se dispusieron las botellas en unas estructuras de metacrilato, sujetas a un cabo que colgaba de

una boya a la deriva. Las botellas oscuras, sin embargo, se incubaron a bordo del barco, durante 24 h, en baños termostatzados que reproducían las temperaturas del agua de mar ($\pm 0.1^\circ\text{C}$) a las que se habían obtenido las muestras. Se tuvo especial cuidado en que la temperatura del agua no variara desde el momento en que se obtenía la muestra del mar. Para ello, la manipulación de las botellas se realizó siempre en una cámara fría termostatzada ($0\pm 1^\circ\text{C}$).

La producción neta comunitaria se estimó como la diferencia de oxígeno entre las botellas claras y las iniciales, la respiración comunitaria como la diferencia de oxígeno entre las botellas iniciales y las oscuras, y la producción bruta como la suma de las medidas anteriores. Para transformar los valores de producción de oxígeno a carbono se utilizó un cociente fotosintético (PQ) de 1.5 (Williams y Robertson, 1991), al suponer que el fitoplancton asimila prioritariamente nitratos en aguas costeras de la Antártida (Smith, 1991). Sin embargo, en el caso de que el fitoplancton asimilase amonio preferencialmente (Rönnner *et al.*, 1983; Probyn y Painting, 1985) el valor sería más cercano a 1. La transformación de consumo de oxígeno a carbono se obtuvo usando un cociente respiratorio (RQ) de 1.

La concentración de oxígeno disuelto en cada botella se determinó por el método Winkler (Carpenter, 1965; Carrit y Carpenter, 1966), utilizando un sistema automatizado de gran precisión (Williams y Jenkinson, 1982), gracias a la detección fotométrica del punto final de la titulación. El coeficiente de variación obtenido de los replicados, tanto de las botellas iniciales como de las incubadas, fue siempre menor de 0.1%.

Además de las estaciones *in situ*, la respiración comunitaria se calculó en 12 muestras (1-25 m) más de la campaña BA93 y 23 (1-25 m) de la campaña BR91 (Fig.1) distribuidas por todo el Estrecho de Bransfield. La metodología utilizada fue la misma que la explicada con anterioridad para el caso de las estaciones *in situ*.

ACTIVIDAD DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE ELECTRONES (ETS)

Para el estudio de la actividad ETS se filtraron entre 3 y 10 litros de agua por muestra a través de filtros GF/F (227 muestras en BA91 y 92 en BR93), que fueron inmediatamente conservados en nitrógeno líquido hasta su posterior análisis (1 día-3 meses). La actividad de las enzimas del sistema de transporte de electrones respiratorio se estimó según el método de Packard (1971), con las modificaciones introducidas por Kenner y Ahmed (1975).

En cada campaña se llevó a cabo un estudio cinético previo, para obtener la temperatura y tiempo de incubación óptimos para el ensayo. De esta forma, se hallaba también la energía de activación que debía utilizarse para convertir las actividades ETS calculadas a la temperatura de incubación en las correspondientes a la temperatura *in situ*. Como resultado de estos ensayos, se vió que era adecuado realizar incubaciones entre 15 y 20 minutos a 0.5°C . La energía de activación hallada fue de 11.92 ± 0.65 kcal mol⁻¹. Este valor medio coincide con los obtenidos por Martínez y Estrada (1992) (12.0 ± 0.5 kcal mol⁻¹) para el microplancton del Mar de Weddell (O. Antártico) y por Martínez (1991) (11.5 ± 0.6 kcal mol⁻¹) en el Mar de Barents (O. Artico).

En algunas muestras se midió la actividad ETS sobre filtros replicados dando un coeficiente de variación entre el 9 y el 13%.

ASIMILACIÓN DE CARBONO

Con el fin de calcular la producción primaria integrada en otras estaciones distintas de las *in situ*, se midió la asimilación de carbono-14 en incubaciones cortas (3 h) simuladas. A partir de estas incubaciones se obtuvieron curvas de fotosíntesis-irradiancia (PI). Para calcular la producción primaria integrada en la columna de agua se utilizó un modelo basado en las recomendaciones de Platt *et al* (1990) (ver Basterretxea y Arístegui, 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES IN SITU EN LA CAMPAÑA BA93

La distribución de las propiedades físicas de la columna de agua (0-60 m), así como de la concentración de nutrientes (nitratos y amonio) y clorofila (total y >2mm) para las cuatro estaciones *in situ* estudiadas, se muestran en las Figs.2-4.

La estación S1 (sobre la plataforma de la Península Antártica) se caracterizaba por presentar una capa de mezcla profunda y una distribución uniforme en las concentraciones de nutrientes y clorofila. Los bajos porcentajes de clorofila >2mm indican dominancia de picoplancton en estas aguas. El fitoplancton >10mm estaba representado principalmente por pequeñas criptofitas flageladas, con una ausencia casi total de diatomeas (Van Lenning, com. pers.).

En la estación S2 (Estrecho de Gerlache), se apreciaba una clara estratificación de la columna de agua en los diez primeros metros, lo que favorecía la concentración de fitoplancton en superficie, a pesar de que la clorofila integrada en la columna de agua (0-60 m) no era mayor que en la estación S1. La composición del fitoplancton era semejante a la estación anterior, con dominancia de criptofitas, pero con una mayor representación de diatomeas de pequeño tamaño (<30 mm). Esto se veía reflejado también en el incremento del porcentaje de clorofila >2mm.

La estación S3 (Bahía Hanusse, cerca del círculo polar) representaba un ejemplo típico de áreas cubiertas de hielo en recesión. A la altura de la pycnoclina, se observaban zonas de inestabilidad térmica, producidas por la mezcla continua con las aguas frías superficiales procedentes del deshielo. La capa de mezcla alcanzaba los 30 m debido al fuerte viento, y estaba dominada por una proliferación de diatomeas, entre las que destacaban las grandes y frágiles células de *Rhizosolenia* (~550mm), que podía estar relacionada con la relativamente baja concentración de nitratos en superficie (ca. 10 mmol l⁻¹).

La estación S4 (aguas encalmadas, Isla Decepción) mostraba, al igual que la S2, temperaturas >1.5°C en superficie y estratificación entre los 15 y 20 m, aunque no tan acusada

como en el caso del Gerlache. En superficie (1-5 m) se presentaba una fuerte proliferación de fitoplancton, constituida principalmente por pequeñas prasinofitas.

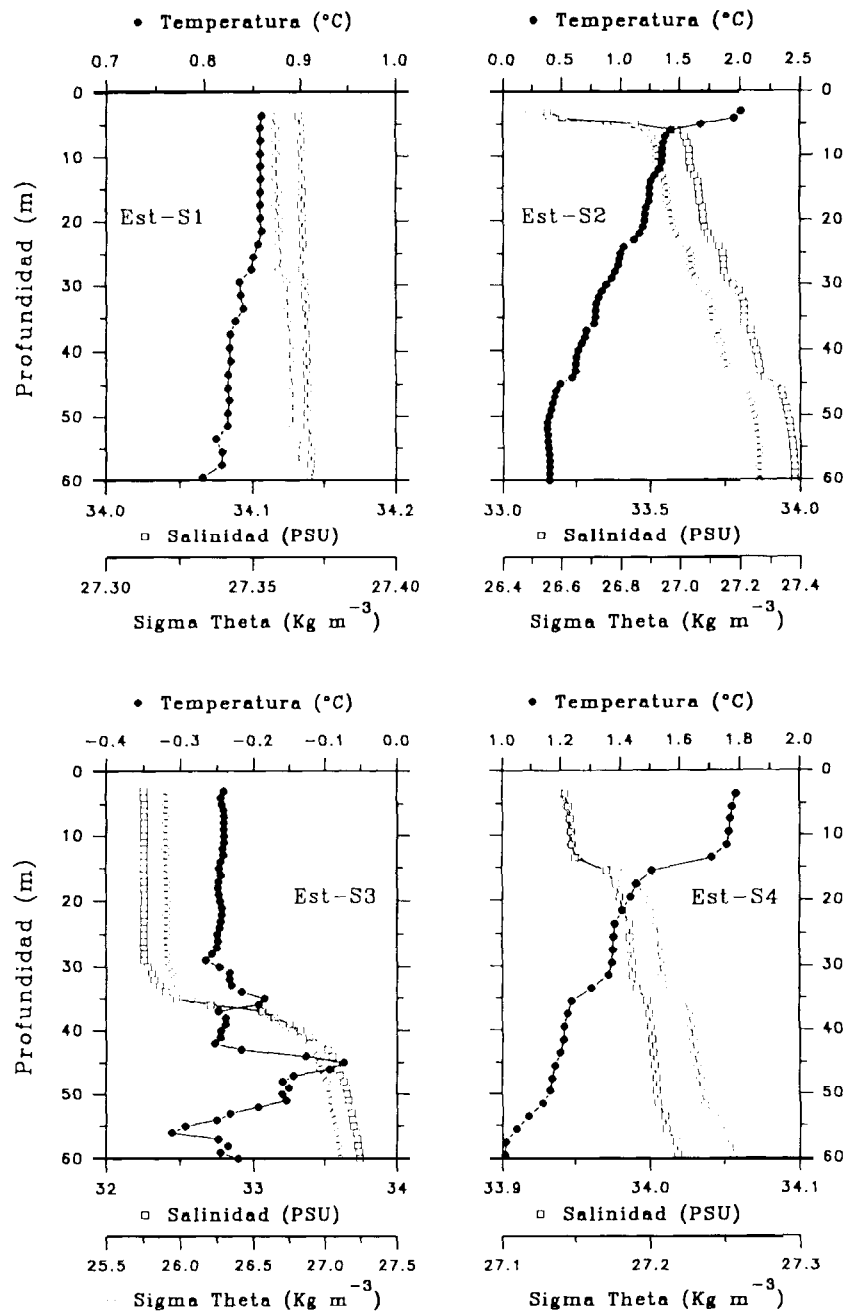


Fig.2. Distribución vertical de la temperatura, salinidad y sigma theta en las estaciones *in situ* (S1-S4) representadas en la Fig.1B.

Las cuatro estaciones eran un buen exponente de la heterogeneidad en las condiciones hidrográficas y biológicas que se pueden encontrar en las aguas costeras de la Península Antártica, durante la primavera y el verano austral. La estación S3, situada a una latitud más al sur, representaba las regiones de deshielo, donde se desarrollan las primeras proliferaciones de fitoplancton, dominadas por una o pocas especies de diatomeas grandes (von Bröckel, 1985; Kopczynska y Ligowski, 1985; Knox, 1990; Jacques y Panouse, 1991; Lancelot *et al.*, 1993). Por el contrario, el florecimiento de la estación S4, caracterizada

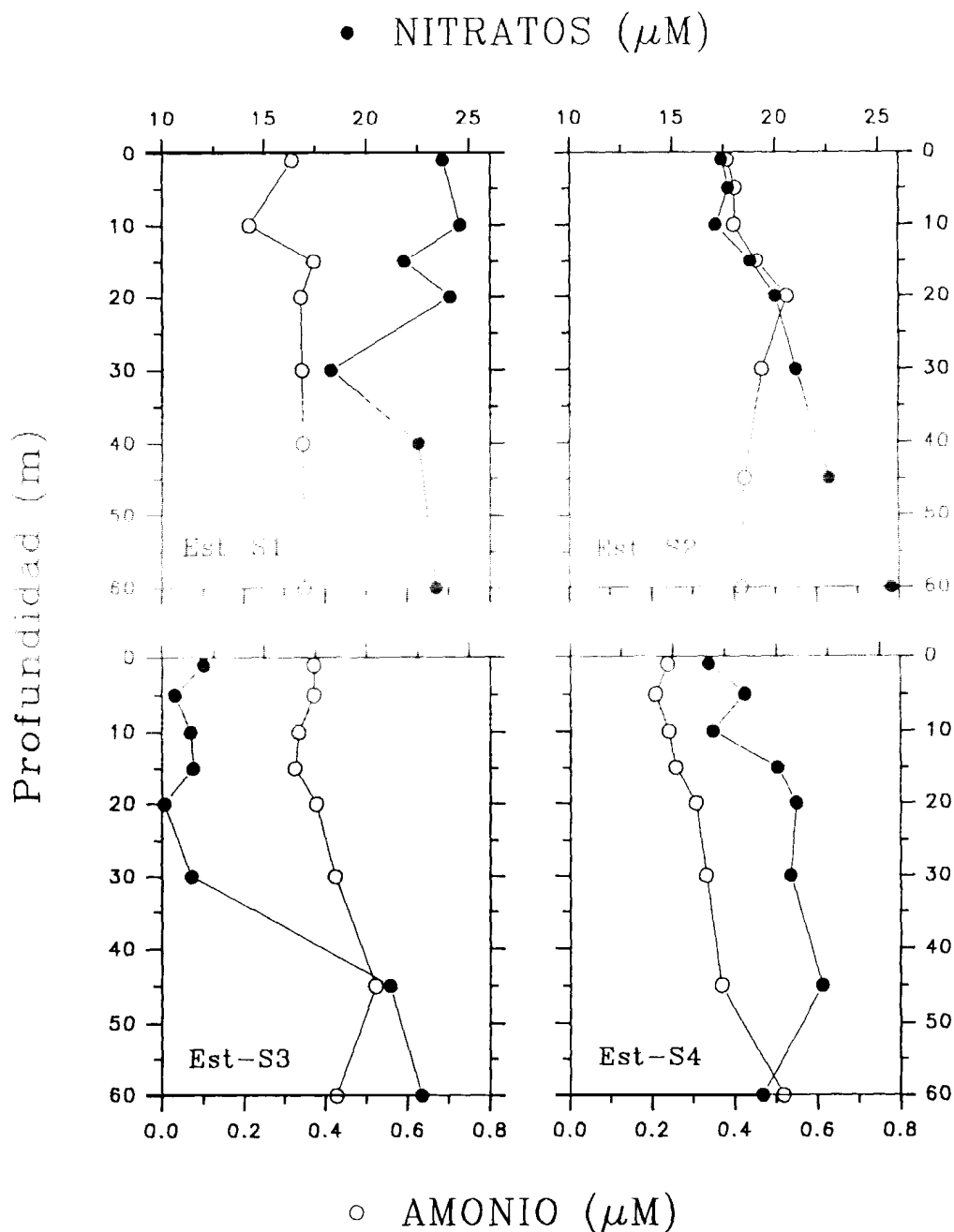


Fig.3. Distribución vertical de la concentración de nitratos (nitratos + nitritos) y amonio en las estaciones *in situ* (S1-S4) representadas en la Fig.1B.

por pequeñas formas flageladas, es más típico del resto de las regiones abiertas del Océano Sur (Weber y El-Sayed, 1987), aunque podría representar también un estado posterior en la sucesión de los florecimientos de diatomeas (von Bröckel, 1985; Knox, 1990; Jacques y Panouse, 1991; Lancelot *et al.*, 1993). La estación S1 reflejaba zonas de fuerte mezcla e inestabilidad en el Estrecho de Bransfield, debido a la confluencia de aguas procedentes del Mar de Weddell y Estrecho de Gerlache, que impiden el desarrollo de plancton de tamaño grande (Kopczynska y Ligowski, 1985). La estación S2, representaba un modelo en la transición entre las situaciones encontradas en la estación S4 y la estación S1.

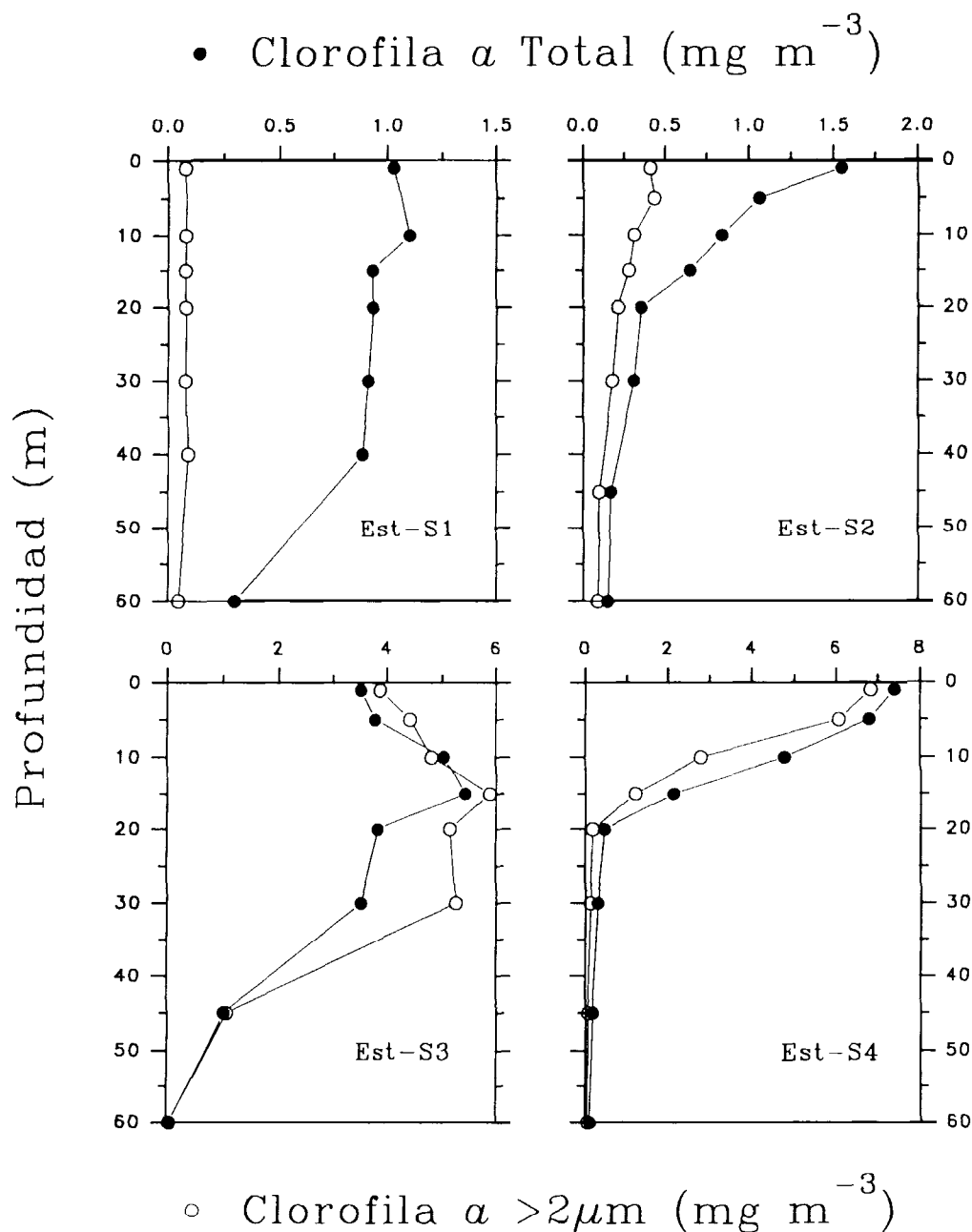


Fig.4. Distribución vertical de la concentración de clorofila total y >2 μm en las estaciones *in situ* (S1-S4) representadas en la Fig.1B.

BALANCE METABÓLICO DURANTE LA CAMPAÑA BA93

Las estimaciones de producción bruta, producción neta comunitaria y respiración comunitaria, en las estaciones *in situ*, expresadas en unidades de oxígeno/tiempo de incubación (13 horas), están representadas en la Fig.5.

Los valores integrados y transformados a carbono de respiración comunitaria en los 30-45 primeros metros de la columna de agua (hasta la máxima profundidad en la que se realizaron incubaciones) variaban entre 123.6 y 1738.1 $\text{mgC m}^2 \text{d}^{-1}$, y comprendían entre el 17.5% (estación S1) y el 79.7% (estación S4) de la producción bruta (Tabla 1A).

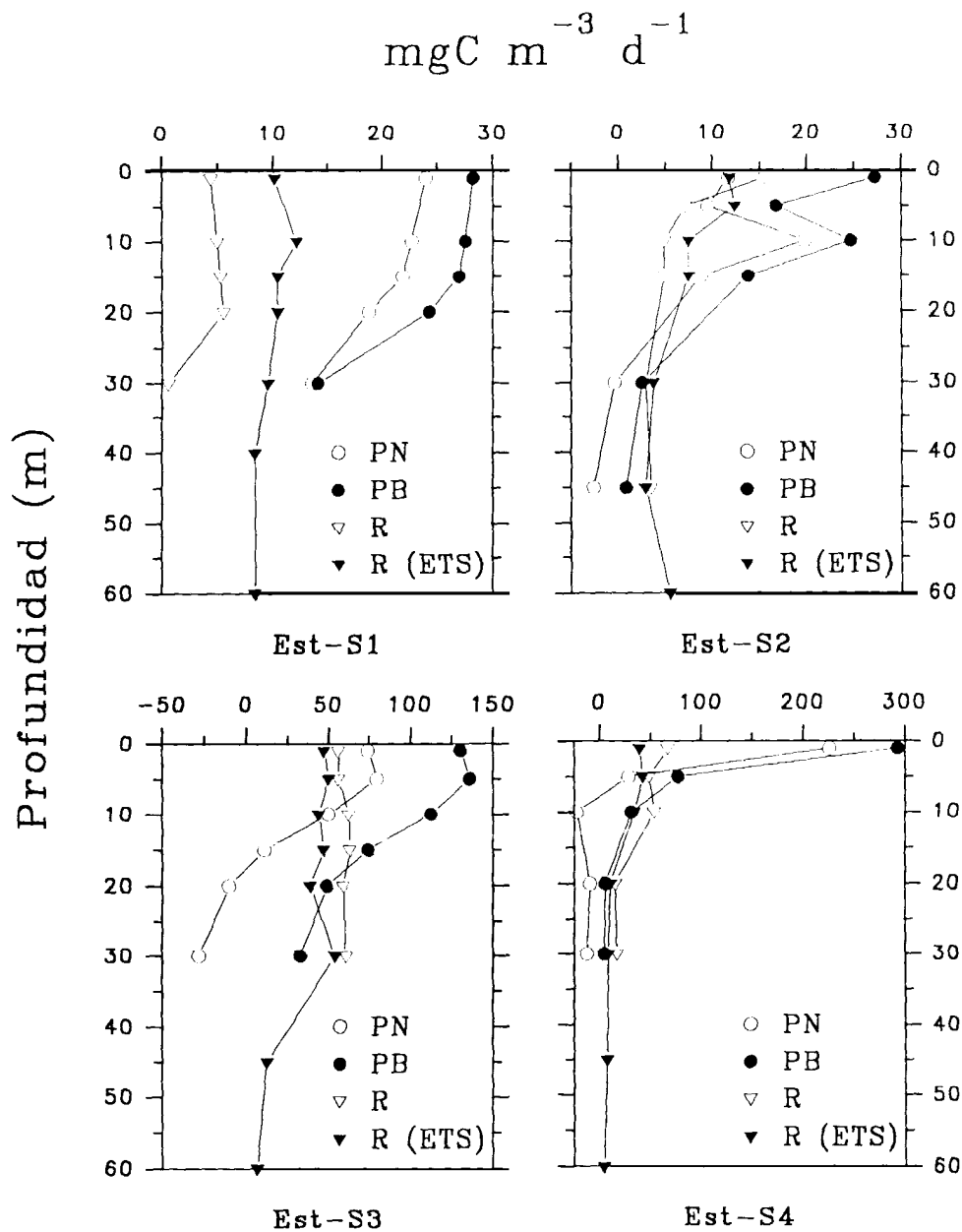


Fig.5. Distribución vertical de la producción bruta (PB), producción neta comunitaria (PN) y respiración comunitaria R en las estaciones *in situ* (S1-S4) representadas en la Fig.1B. PB, PN y R se calcularon por medio del método del oxígeno. Todos los valores están expresados en unidades de oxígeno/ tiempo de incubación (13 horas).

En la Tabla 1B también se representan los valores de respiración comunitaria y producción primaria (asimilación de carbono-14) integrados en los primeros 100 m de la columna de agua en otras 6 estaciones del Estrecho de Bransfield. En estos casos, las actividades ETS se transformaron a tasas reales de consumo de oxígeno (R) mediante la ecuación obtenida de la regresión entre ambas series de valores para la campaña BA93:

$$\log R = 0.92 \log \text{ETS} - 0.01$$

n=35 $r^2=0.85$ $p<0.0001$ CF=1.1

donde R y ETS se expresan en $\text{mgO}_2 \text{ m}^{-3} \text{d}^{-1}$.

Tabla 1A

Est	Prof(m)	PB(O ₂)	R(O ₂)	R/PB %
S1	0-30	707	124	17.5
S2	0-45	440	206	47.4
S3	0-30	2332	1738	74.5
S4	0-30	1245	992	79.7

Tabla 1B

Est	Prof(m)	PB(14C)	R(ETS)	R/PB %
17	0-100	767	540	70.4
45	0-100	3588	1922	53.6
24	0-100	424	352	83.0
57	0-100	646	314	48.6
60	0-100	404	302	74.8
A1	0-100	2774	1092	39.4

Tabla 1. Balance metabólico en (1A) estaciones *in situ* y (1B) otras estaciones cercanas a la Península Antártica. Los valores de producción bruta (PB) y respiración (R) se obtuvieron como diferencias de oxígeno en botellas incubadas durante ~13 horas. Los valores de ¹⁴C se calcularon según un modelo, en base a curvas P-I (Basterretxea y Aristegui, 1994). El ETS se transformó a respiración según la ecuación descrita en el texto. Todos los valores están expresados en mgC m⁻² d⁻¹ y representan medidas integradas en la columna de agua entre las profundidades indicadas. Para transformar de oxígeno a carbono se utilizó un PQ=1.5 y un RQ=1.

El error medio de aplicar esta ecuación se estimó en un 33%. Posteriormente, los valores se convirtieron a carbono usando un RQ=1. Los valores de respiración variaban entre 302 y 1922 mgC m⁻² d⁻¹, y representaban entre un 39.4 y 83.0% de la producción primaria.

La interpretación de los datos de ambas tablas merece una cierta cautela. En el caso de las incubaciones *in situ* (Tabla 1A), los balances corresponden a los 30 ó 45 primeros metros de profundidad, debido a la limitación en la sensibilidad del método del oxígeno. Estas profundidades coincidían con la profundidad media de la capa fótica (43±17 m) estimada durante la campaña BA93. Sin embargo, en el caso de las otras estaciones (Tabla 1B), los balances incluían también a la zona afótica, donde el metabolismo respiratorio estaba presumiblemente dominado por heterótrofos. A pesar de ello, las diferencias en los balances de producción y respiración entre las estaciones recogidas en las dos tablas no son significativas, debido a que la mayor parte de la respiración comunitaria se producía en la zona fótica. Esto se pudo comprobar al comparar las actividades ETS integradas en los primeros 50 y 100 m de profundidad (datos no presentados).

Lancelot *et al.* (1991), en su modelo de carbono para la zona marginal del hielo en el Mar de Weddell, considera que un 60.2% de la producción bruta (fotosíntesis) se respira a través del microplancton, atribuyendo la mayor parte de la respiración al fitoplancton (48.3%). Nuestros valores integrados de producción y respiración, hallados por diferentes métodos, dan una contribución al metabolismo respiratorio microbiano similar o ligeramente superior al hallado por los autores anteriores, pero raramente superior

al 80%, como ocurre en otras áreas frías (Harrison, 1986) o templadas (Williams, 1981). Si consideramos que la respiración en la zona fótica se debe principalmente al fitoplancton (Lancelot *et al.*, 1991), los valores de respiración en fitoplancton obtenidos por Tilzer y Dubinsky (1987) (<10%) serían claramente inferiores a los hallados por nosotros.

Los resultados, tanto de las incubaciones *in situ* como de las otras estaciones del Bransfield, demuestran que la respiración del microplancton constituye una pérdida importante de carbono en aguas costeras de la Antártida, incluso en situaciones de florecimiento de fitoplancton. Estos datos contradicen la idea de Huntley *et al.* (1991b) de que prácticamente toda la producción primaria es consumida por el zooplancton herbívoro en esta región. En su modelo, estos autores no consideran la respiración del fitoplancton, por lo que sobrestiman la contribución de los heterótrofos al flujo de carbono (Moloney, 1992). Además, es improbable, tal y como ellos postulan, que el zooplancton agote casi por completo los florecimientos de fitoplancton antes de que éstos se sedimenten (Bodungen *et al.*, 1986), a menos que el consumo debido al krill sea continuo (Lancelot *et al.*, 1993).

VARIABILIDAD ESPACIAL DEL ETS EN EL ESTRECHO DE BRANSFIELD

La influencia de la hidrografía local sobre la actividad respiratoria del microplancton sólo pudo estudiarse durante la campaña BR91, debido a condicionantes del muestreo.

Los mapas de temperatura y salinidad a 10 m en el Estrecho de Bransfield durante la campaña BR91 (Fig.6A,B), muestran un frente bien definido entre las aguas procedentes del Mar de Weddell, que discurrían por la plataforma de la península Antártica en dirección suroeste, y las aguas procedentes del Estrecho de Gerlache, que se dirigían hacia el noreste. Este frente constituye una característica persistente del Estrecho de Bransfield (Gordon y Nowlin, 1978; Grelowski y Tokarczyk, 1985; Grelowski *et al.*, 1986; Stein, 1988) y fue observado tanto durante la campaña BR91 como BA93 (García *et al.*, 1993).

La Fig.6C,D muestra los mapas de distribución de la clorofila *a* y ETS integrados en los primeros 100 metros. En superficie, los valores más altos de clorofila y ETS se encontraban en la estación 34 (Estrecho de Gerlache), donde había un florecimiento superficial de cerca de 10 mgCl_a m⁻³. Sin embargo, la mayor concentración de clorofila integrada se hallaba en el centro del Estrecho de Bransfield, en la zona influenciada por las aguas procedentes del Mar de Weddell, probablemente como consecuencia del hundimiento de un florecimiento local de fitoplancton (Fig.6C). Por el contrario, las actividades ETS más elevadas se disponían trazando con claridad el frente antes descrito (Figs.6D). El incremento de actividad respiratoria en zonas de frentes se ha observado también en otras regiones oceánicas distintas, como el Atlántico Norte (datos sin publicar) o las Islas Canarias (Montero, 1993). Las razones de este incremento de actividad no se conocen con exactitud, pero podrían estar relacionadas con el incremento en la tasa de crecimiento de los organismos (ver Geider, 1992).

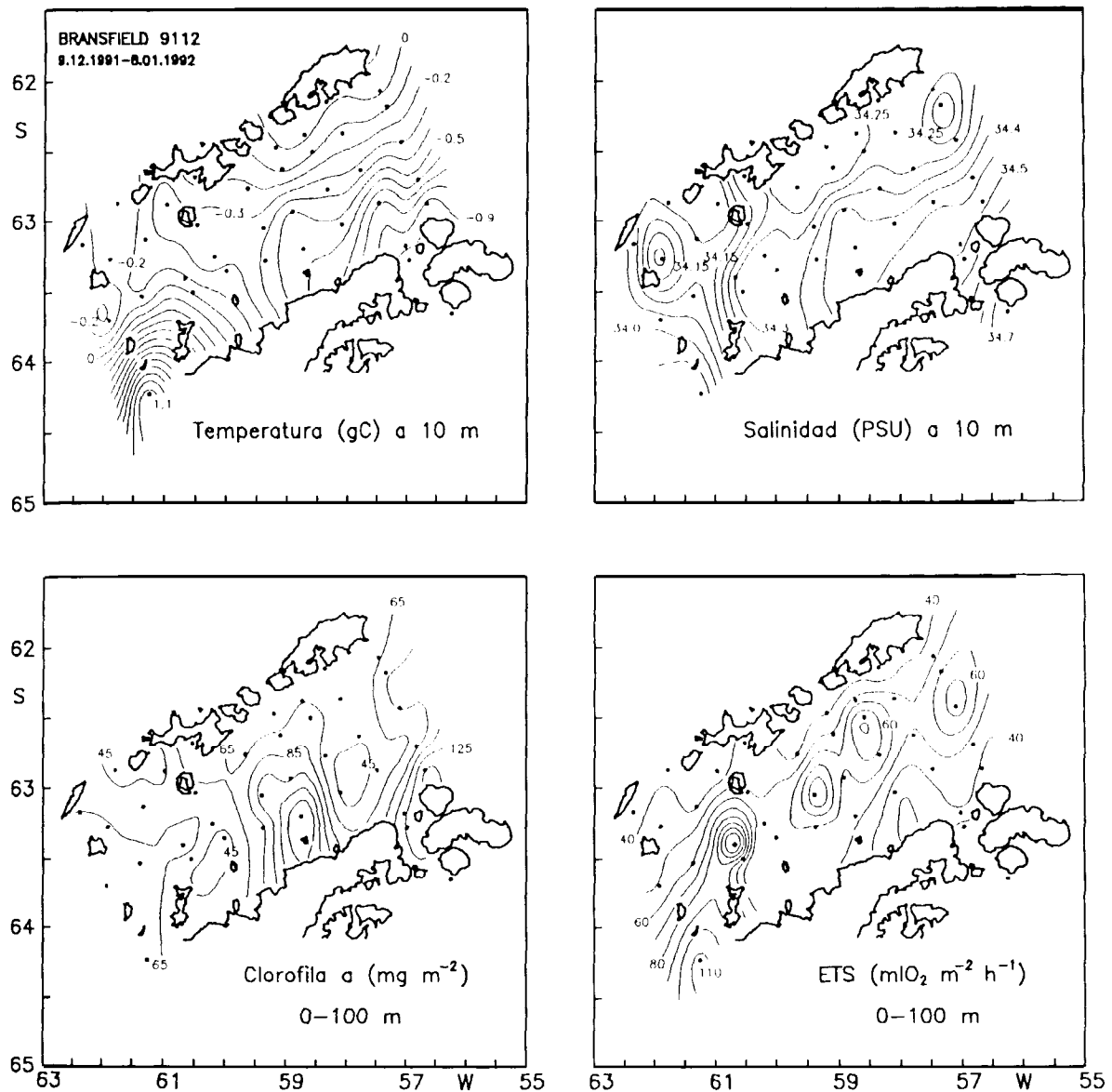


Fig.6. Distribución espacial de la temperatura (A) y salinidad (B) a 10 m de profundidad, y de la clorofila a © y actividad ETS (D) integradas en los primeros 100 m, durante la campaña Bransfield 9112.

CONCLUSIONES

En conclusión, nuestros resultados demuestran que la respiración del microplankton constituye una pérdida importante del carbono producido en las aguas costeras de la Antártida, incluso en situaciones de florecimiento de fitoplancton. Ahora, para poder modelizar estas pérdidas es necesario considerar la distribución espacial del metabolismo respiratorio, ya que parece estar fuertemente condicionado por los procesos físicos locales a nivel de mesoescala. La utilización de valores teóricos de respiración, o extraídos de otras áreas donde la hidrografía y la composición de las comunidades sea distinta, puede conducir a cálculos erróneos en la elaboración de modelos de carbono para una región determinada.

REFERENCIAS

- Anderson, L.G., O. Holby, R. Lindegren y M. Ohlson (1991). The transport of anthropogenic carbon dioxide into the Weddell Sea. *J. Geophys. Res.*, 96:16679-16687
- Aristegui, J., S. Hernandez-Leon, S. Torres y G. Basterretxea (1991). Hidrografía del Estrecho de Bransfield (Diciembre, 1991). Informe de la Campaña "Oceanografía del Estrecho de Bransfield: Parámetros Ambientales, Producción y Caracterización de sus Comunidades Planctónicas". CICYT
- Basterretxea, G. y J. Aristegui (1994). Modelos de Producción Primaria en el Estrecho de Bransfield. *Actas Vº Simposio de Estudios Antárticos*. Barcelona (este volumen)
- Brockel, K. von (1985). Primary production data from the south-eastern Weddell Sea. *Polar Biol.*, 4:75-80
- Bodungen, B.V., V. Smetacek, M.M. Tilzer y B. Zeitzschel (1986). Primary production and sedimentation during spring in the Antarctic Peninsula region. *Deep-Sea Res.*, 33:177-194
- Carpenter, J.H. (1965). The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis. *Limnol. Oceanogr.*, 10:135-140
- Carrit, D.E. y J.H. Carpenter (1966). Comparison and evaluation of currently employed modifications of the Winkler method for determining dissolved oxygen in seawater; a NASCO Report. *J. Mar. Res.*, 24:286-318
- García, M.A., J. Sospedra, M. Espino, O. López y G.K. Morrison (1993). Campaña BIOANTAR 93. Oceanografía Física. Informe de la Campaña "BIOANTAR 93". CICYT.
- Geider, R.J. (1992). Respiration: taxation without representation?. In: *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea* (P.G. Falkowski y A.D. Woodhead, eds.). pp:333-360. Plenum Press.
- Gordon, A.L. y W.D. Nowlin Jr. (1978). The basin waters of the Bransfield Strait. *J. Phys. Oceanogr.*, 8:258-265
- Grelowski, A. y R. Tokarczyk (1985). Hydrological conditions in the region of Bransfield Strait and southern part of Drake Passage in the period from December 10, 1983 and January 8, 1984 (BIOMASS-SIBEX). *Pol. Polar Res.*, 6:31-41
- Grelowski, A., A. Majewicz y M. Pastuszek (1986). Mesoscale hydrodynamic processes in the region of Bransfield Strait and the southern part of Drake Passage during BIOMASS-SIBEX 1983/84. *Pol. Polar Res.*, 7:353-369
- Harrison, W.G. (1986). Respiration and its size-dependence in microplankton populations from surface waters of the Canadian Arctic. *Polar Biol.*, 6:145-152
- Holm-Hansen O. y B. Riemann (1978). Chlorophyll *a* determination: improvements in methodology. *Oikos*, 30:438-447
- Holm-Hansen O., C.J. Lorenzen, R.W. Holmes y J.D.H. Strickland (1965). Fluorometric determination of chlorophyll. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 30:3-15
- Honjo, S. (1990). Particle fluxes and modern sedimentation in the polar oceans. In: *Polar Oceanography, Part B: Chemistry, Biology and Geology*. pp:688-739. Academic Press.
- Huntley, M.E., D.M. Karl, P. Niiler y O. Holm-Hansen (1991a). Research on Antarctic Coastal Ecosystem Rates (RACER): an interdisciplinary field experiment. *Deep-Sea Res.*, 38:911-941

- Huntley, M.E., M.D.G. López y D.M. Karl (1991b). Top predators in the southern ocean: a major leak in the biological carbon pump. *Science*, 253:64-66
- Huntley, M.E., M.D.G. López y D.M. Karl (1992). Response to the comment of C.L. Moloney. *Science*, 257:259-260
- IGBP (1993). *Joint Global Ocean Flux Study: Implementation Plan*. International Geosphere-Biosphere Programme, Stockholm (IGBP Report No.23)
- Jacques, G. (1989). Primary production in the open Antarctic Ocean during the austral summer. A review. *View Mitieu*, 39:1-17
- Jacques, G. y M. Panouse (1991). Biomass and composition of size fractionated phytoplankton in the Weddell-Scotia Confluence area. *Polar Biol.*, 11:315-328
- Karl, D.M., B.D. Tilbrook y G. Tien (1991). Seasonal coupling of organic matter production and particle flux in the western Bransfield Strait, Antarctica. *Deep-Sea Res.*, 38: 1097-1126
- Kenner, R.A. y S.I. Ahmed (1975). Measurements of electron transport activities in marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, 33:119-127
- Knox, G.A. (1990). Primary production and consumption in McMurdo Sound, Antarctica. In: *Antarctic Ecosystems. Ecological Change and Conservation* (K.R. Kerry y G. Hempel, eds), pp:115-128. Springer-Verlag
- Kopczynska, E.E. y R. Ligowski (1985). Phytoplankton composition and biomass distribution in the southern Drake Passage, the Bransfield Strait and the adjacent waters of the Weddell Sea in December 1983-January 1984 (BIOMASS-SIBEX). *Pol. Polar Res.*, 6:65-77
- Lancelot, C., G. Billen, C. Veth, S. Becquevort y S. Mathot (1991). Modelling carbon cycling through phytoplankton and microbes in the Scotia-Weddell Sea area during sea ice retreat. *Mar. Chem.*, 35:305-324
- Lancelot, C., S. Mathot, C. Veth y H. De Baar (1993). Factors controlling phytoplankton ice-edge blooms in the marginal ice-zone of the northwestern Weddell Sea during ice retreat 1988: field observations and mathematical modelling. *Polar Biol.*, 13:377-387
- Li, W.K.W. y P.M. Dickie (1991). Light and dark ^{14}C uptake in dimly-lit oligotrophic waters: relation to bacterial activity. *J. Plankton Res.*, 13(suppl.):29-44
- Li, W.K.W., B.D. Irwin y P.M. Dickie (1993). Dark fixation of ^{14}C : variations related to biomass and productivity of phytoplankton and bacteria. *Limnol. Oceanogr.*, 38:483-494
- Martínez, R. (1991). Biomass and respiratory ETS activity of microplankton in the Barents Sea. *Polar Res.*, 10:193-200
- Martínez, R. y M. Estrada (1992). Respiratory electron transport activity of microplankton in the Weddell Sea during early spring: influence of the ice cover and the ice edge. *Polar Biol.*, 12:275-282
- Moloney C.L. (1992). Carbon and the antarctic marine food web. *Science*, 257: 259-260
- Montero, M.F. (1993). *Respiración y actividad ETS en microplancton marino. Variabilidad del ETS en aguas de Canarias*. Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas G.C. 194 p.
- Packard, T.T. (1971). The measurement of respiratory electron transport activity in marine phytoplankton. *J. Mar. Res.*, 29:235-244