

## **EXPEDICION ANTARTIC' 86 RESULTADOS CIENTIFICOS**

A. BALLESTER\*  
J. ROVIRA\*  
J. CASTELLVI\*  
A. JULIA\*

### **RESUMEN**

La expedición española ANTARTIC' 86 (23 de Noviembre de 1986-10 de Enero de 1987) se inició en el Puerto de Vigo donde embarcó en el B/O polaco "Prof. Siedlecki".

Desde las Islas Canarias hasta Admiralty Bay se realizó un análisis automático-secuencial de los parámetros Temperatura, Salinidad, Nitratos, Nitritos, Silicatos y Clorofila sobre un flujo de agua bombeado a través del casco del buque desde -4 m de profundidad navegando a velocidad de crucero.

### **SUMMARY**

The Antarctic' 86 spanish expedition (23 Novembre 1986-10 January 1987) was initiated in the Port of Vigo shipping the polish R/V "Prof. Siedlecki". Automatic-sequential (on line) analysis of Temperature, Salinity, Nitrates, Nitrites, Silicates and Chlorophyll was made, without any interruption, from Canary Is. to Admiralty Bay (South Shetland Is) on sea water sampled from -4 m depth through the hull of the ship.

---

\* Instituto de Ciencias del Mar. Paseo Nacional s/n. 08003 Barcelona.

## INTRODUCCION

Durante la expedición Antartic' 86, el equipo español realizó el estudio de las condiciones ambientales marinas en todo el campo de estudio que comprende el transecto iniciado en Vigo y finalizado en la Estación Arc-towski. (Figura 1). Los parámetros, Temperatura, Salinidad, Nitratos, Silica-tos y Clorofila, fueron analizados en tiempo real, sobre un flujo continuo de agua subsuperficial bombeada hacia el laboratorio de a bordo, utilizando la moderna tecnología introducida por nosotros. Estos parámetros fueron tam-bién analizados desde el punto de vista de su distribución vertical utilizando una sonda CTD (Bisset Berman) y sensores XBT no recuperables así como botellas hidrográficas convencionales dotadas de termómetros de inversión los cuales son presentados y discutidos a continuación.

### Descripción cronológica de la campaña

<u>Fecha</u>	<u>Lugar</u>	<u>Operación</u>
23.09.86	Pt. Vigo	- Embarque del Personal y equipo a bordo del "R/V Prof. Siedlecki"
26.09.86	Alta mar	- Inicio del análisis continuo.
14.10.86	Pt. Montevideo	- Escala Técnica
16.10.86	Pt. Montevideo	- Salida. Prosiguió el análisis continuo y discreto
18.11.86	I. King George	- Desembarco del personal y equipo científico en la estación Antártica Arctowski. Muestreo y experimentación.
25.12.86	I. King George	- Embarque en el buque Koral
26.12.86	I. Livingston	- Establecimiento del primer campamento antártico del CSIC.
28.12.86	I. Decepción	- Reconocimiento y muestreo
04.01.87	I. King George	- Desembarco del Koral en la base Antártica Chilena Teniente Marsh. Visita de las bases: Bellingshausen (URSS), Gral. Artigas (Uruguay) y Gran Muralla (China).
08.01.87	Punta Arenas	- Llegada desde la base Tte. Marsh. Fin de campaña.

## MATERIAL Y METODOS

El instrumental analítico utilizado consistió, esencialmente, en dos canales de análisis secuencial T-S (Grundy), cuatro canales de análisis automático para nitratos, silicatos, nitritos y fosfatos y tres unidades Turner para el análisis fluorimétrico de clorofila tanto sobre el flujo continuo del agua muestreada como en muestras discretas tomadas a distintas profundidades con botellas Niskin. Este equipo, junto con un dispositivo de control y tratamiento de la información procedente de los sensores XBT (Sippican) y

una interfase Bathysystems, fueron embarcados en Vigo y operaron a partir de las Is. Canarias. El tratamiento y almacenamiento de la información se efectuó por medio de dos microordenadores: HP-85 y HP-86B.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Fase oceánica**

Comprende el trayecto Vigo-Estación Antártica polaca Arctowski (Isla King George, South Shetland Is.).

— Estudio de las características físicas, químicas y biológicas de las aguas superficiales.

Mediante la toma de una muestra continua de agua a 3 m de profundidad se analizaron, automática y secuencialmente, los siguientes parámetros: Temperatura, Salinidad, Nitratos, Silicatos y Fluorescencia debida a la clorofila. Intermitentemente se analizaron Nitritos y Fosfatos.

El conocimiento simultáneo de la evolución de los valores de temperatura, salinidad y de los nutrientes principales así como la concentración de fitoplancton a través de la fluorescencia debida a la clorofila, es importante para la detección de las grandes discontinuidades en la distribución del fitoplancton y para definir sus límites y dinamismo.

— Estudio de la distribución vertical de la temperatura.

Mediante el lanzamiento frecuente de sondas XBT (-900 m) se pudo conocer la evolución del perfil térmico a lo largo del recorrido en función de la latitud (figura 2). De esta manera se localizaron las convergencias subtropical y antártica, el frente polar y la divergencia antártica. La información así obtenida complementó la correspondiente al análisis subsuperficial continuo de Temperatura, Salinidad, Nutrientes y Clorofila.

—Estudio de la distribución de los compuestos organoclorados presentes en el sistema marino en forma disuelta y particulada.

El muestreo y pretratamiento de las muestras obtenidas se puede agrupar en dos partes. La primera corresponde al transecto entre las Islas Canarias (30° 23'N, 16° 04'W) y Elephant I. (58° 27'S, 53° 22'W) y comprende un total de 26 muestras (figura 1). El objetivo de este muestreo era observar la variación latitudinal de compuestos organoclorados presentes en la fase líquida y en la particulada.

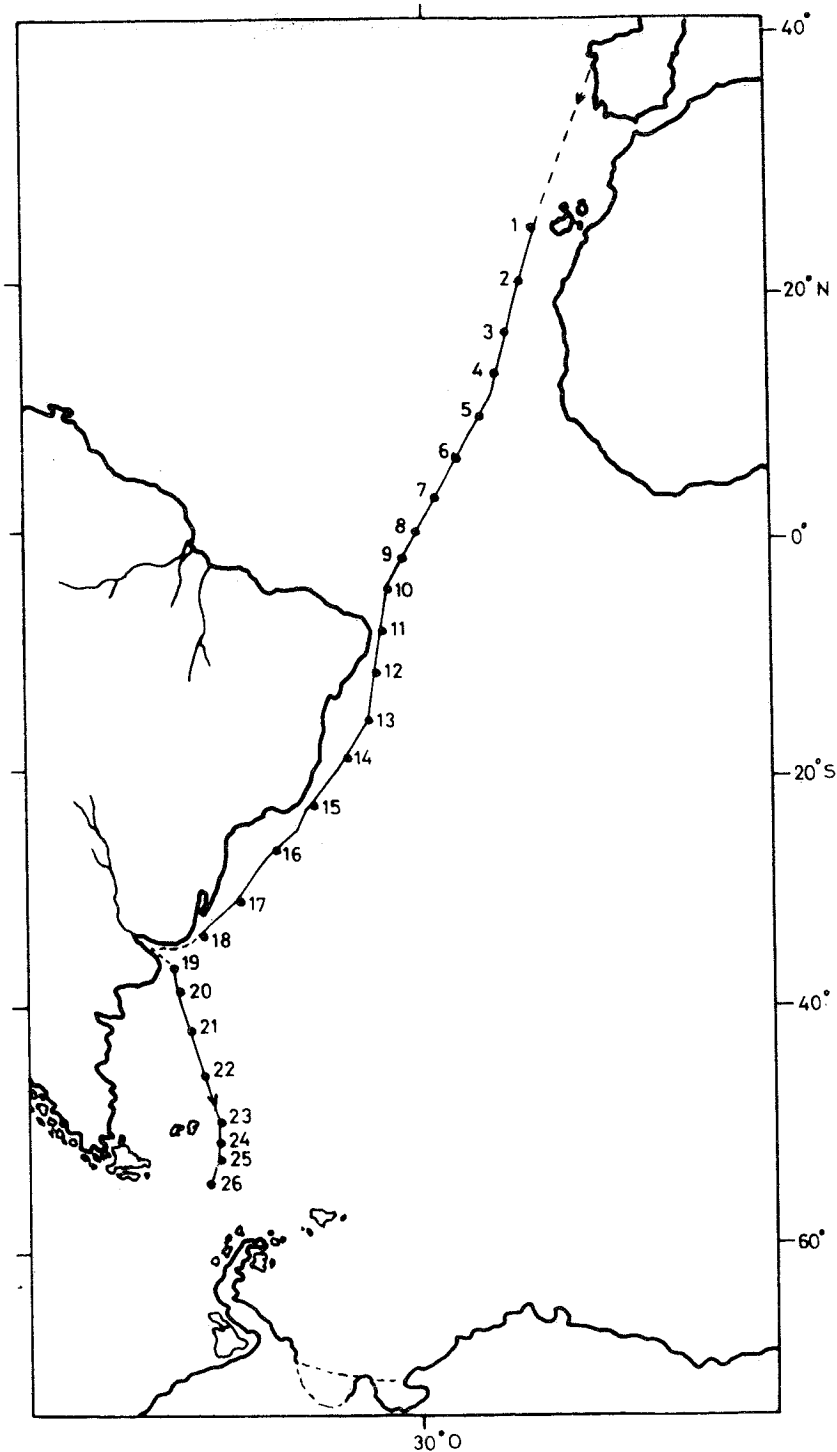


FIGURA 1.—Ruta seguida por el R/V "Prof. Siedlecki" desde Vigo hasta Drake Passage y situación de los puntos de muestreo para el análisis de DDT's, PCB's, metales pesados y clorofila.

La segunda parte del muestreo comprende 14 muestras tomadas a lo largo del recorrido realizado en el estrecho de Bransfield.

Los resultados así como el protocolo analítico adoptado se discuten en la comunicación de Juan Rovira, publicado en este mismo volúmen.

— Muestreo de agua para la determinación de metales pesados.

A partir de los 11° 13'S - 35° 39'W y paralelamente al muestreo para el análisis de compuestos orgánicos se llevó a cabo la toma de muestras para el análisis de metales pesados.

El sistema utilizado para el muestreo y su pretratamiento fue el acomplejamiento de cationes (Fe, Ni, Co, Cd, Al, etc.) disueltos. Un litro de muestra de agua prefiltrada se hizo circular por una columna de fase reversa C-18 (Baker 10-SPE) que retiene los complejos metálicos formados por adición de 8-hidroxiquinoleína. Las columnas fueron conservadas a -20° C hasta su análisis por absorción atómica en horno de grafito. Los resultados están aún en fase de elaboración.

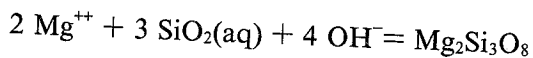
### Fase litoral

Se inició con el desembarco en la Isla King George y el establecimiento de la base de operaciones en la Estación antártica polaca Arctowski situada en la vertiente occidental de Admiralty Bay. Esta fase se prolongó hasta el 4 de enero de 1987 con un total de 48 días. Las actividades desarrolladas pueden agruparse en los siguientes apartados

— Geoquímica del silicio

El objetivo de este estudio es la búsqueda del origen de los altos valores encontrados en las aguas situadas al S del Frente Polar (100-160  $\mu$ M de Si-SiO<sub>3</sub>, 30-36  $\mu$ M de N-NO<sub>3</sub> y 2,3-2,8  $\mu$ M de P-PO<sub>4</sub>).

La máxima concentración posible de silicatos presentes en el agua de mar viene limitada por la acción precipitante del ión Mg<sup>++</sup> de acuerdo con la reacción propuesta por WOLLAST (1968), según la cual se forma sepiolita a expensas de la sílice amorfa disuelta.



Esta es la única reacción que se reconoce como realmente responsable de la formación de sepiolita por la acción del ión magnesio pero el nivel de sobresaturación puede alcanzar varios órdenes de magnitud. En aguas frías,

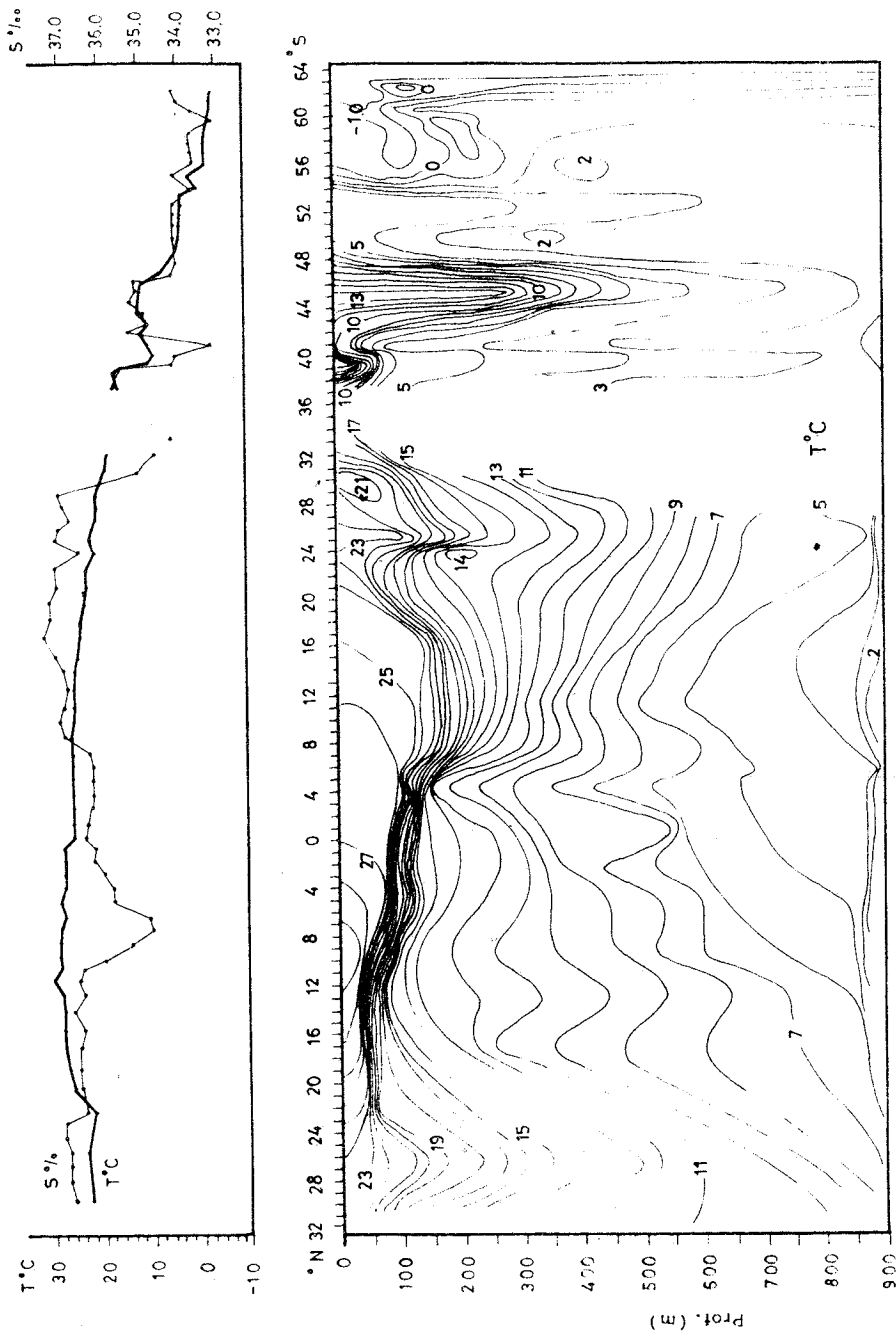


FIGURA 2.—Perfiles térmicos obtenidos con lanzamientos frecuentes de sondas XBT permiten definir la estructura térmica de la extensa zona oceánica comprendida entre Islas Canarias y el Estrecho Brandsfield. En la parte superior se puede observar el registro continuo de temperatura y salinidad subsuperficiales (—4 m).

no obstante, la formación de silicato magnésico está favorecido. A  $0^{\circ}$  C la constante de equilibrio de la reacción se reduce a  $10^{-41,8}$ . De acuerdo con ésto en las frías aguas antárticas sería más probable observar precipitaciones de sepiolita. A pesar de ello, las aguas antárticas presentan las máximas concentraciones de silicatos observadas en todos los océanos. En las figuras 3 y 4 se ve claramente cómo los valores de  $\text{Si—SiO}_3^-$  inician un incremento considerable en las aguas superficiales a partir de la Convergencia Antártica o Frente Polar situados, en esta ocasión, en el paralelo  $49^{\circ}$  Sur. Los valores de silicatos se incrementan de nuevo a partir del paralelo  $54^{\circ}$  S justo en el borde septentrional de la Divergencia Antártica. La asociación entre altos valores de silicatos y temperaturas subsuperficiales próximas a  $0^{\circ}$  C es clara y coincide con la asociación de valores bajos de salinidad y valores máximos de silicatos. Esta asociación no se confirma al examinar la distribución de estos parámetros lo cual sugiere una gran complejidad en el conjunto de fenómenos que intervienen en la distribución de los compuestos de silicio hidrosolubles. Uno de los factores que debe ser tenido en cuenta es la actividad biológica. En el balance de masa de la sílice presente en los océanos WOLLAST en su trabajo "The Silica Problem" tomando datos de diversos autores hace una estimación de los aportes al mar y de los mecanismos geoquímicos de eliminación. Según este autor los ríos son responsables de la mayor parte de los aportes con  $4.3 \times 10^{14}$   $\text{SiO}_2/\text{año}$ . El volcanismo submarino y la meteorización de rocas submarinas son responsables de unas cantidades de aporte muy bajas:  $0.0003 \times 10^{14}$  y  $0.03 \times 10^{14}$   $\text{SiO}_2/\text{año}$ . La sedimentación se estima en  $3.6 \times 10^{14}$   $\text{g/año}$  y precipitación  $0.43 \times 10^{14}$   $\text{g SiO}_2/\text{año}$ . WOLLAST tomando datos de la literatura existente menciona datos sobre la retirada de silicio realizada por vía biológica. Todos los autores citados (HARRIS, 1966; LISITZIN, 1967 y HEATH, 1973, estiman la asimilación global del silicio disuelto en el océano en cantidades que oscilan alrededor de  $8 \times 10^{14}$   $\text{g SiO}_2/\text{año}$ . La disponibilidad de utilización de silicio procedente de los aportes fluviales es unos dos órdenes de magnitud inferiores a la asimilación biológica de este elemento. Todos estos datos son muy imprecisos y ni siquiera pueden considerarse como aproximadamente ciertos. En todo caso, parece que existen aportes considerables que no son tenidos en cuenta. Los altos valores de silicatos que se detectan en todos los espacios marinos de la región antártica sugieren la existencia de grandes aportes relacionados con la actividad del hielo y la abundancia de materiales volcánicos sumergidos y emergidos.

El muestreo y análisis sistemático de las rocas volcánicas muy abundantes en la región permitió detectar compuestos de silicio hidrosolubles en cantidades elevadas (18-63 ppm de  $\text{Si—SiO}_2$ ) en todas ellas (Tabla I). También las aguas continentales y el hielo de los glaciares muestran altos contenidos de silicio procedentes de los materiales hidrosolubles de carácter silíceo detectados en las formaciones volcánicas que caracterizan la corteza emergida y sumergida de la región. El ciclo geoquímico del silicio podría representarse como se ha hecho en la figura 5. Los compuestos de fósforo hidrosolubles

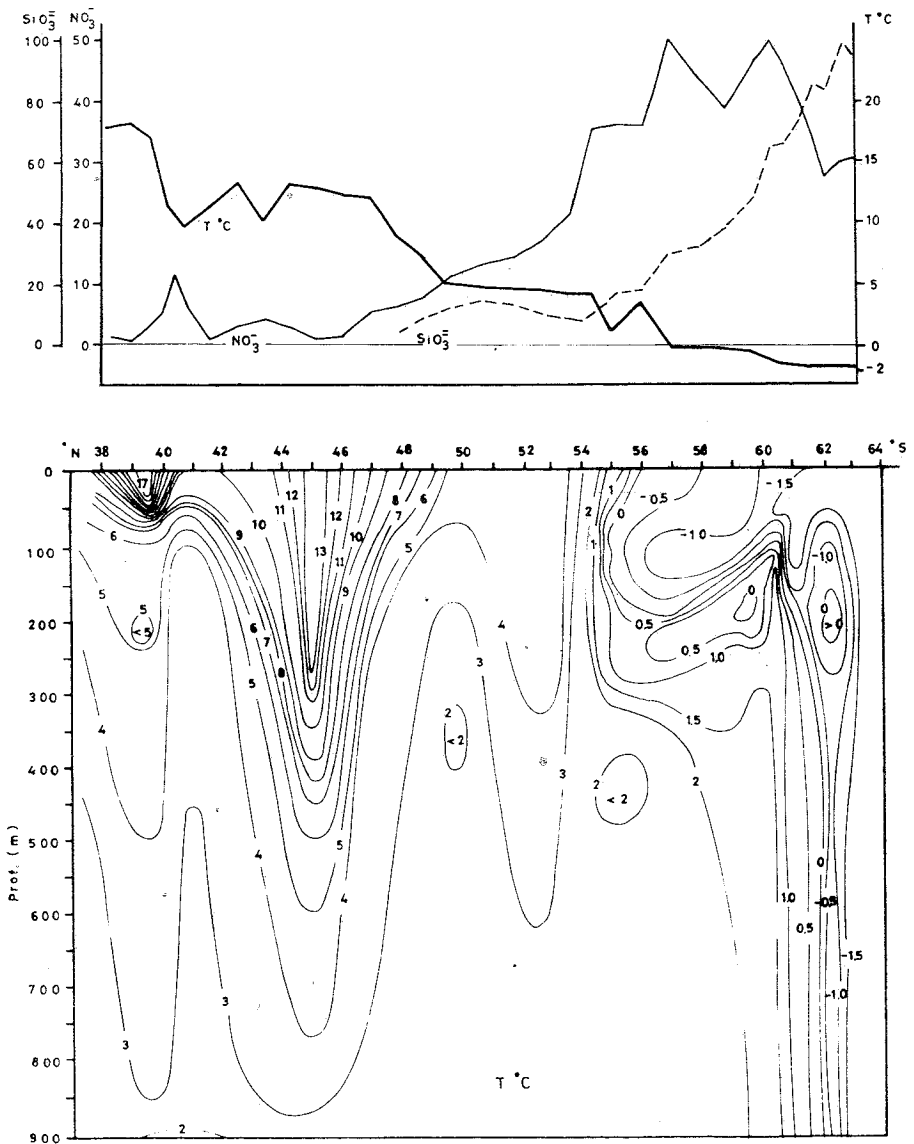


FIGURA 3.—En la parte superior de la figura se pueden observar los valores de nitratos y silicatos y comparar su evolución con la de la temperatura. De hecho, valores significativos de silicatos de -4 m de profundidad, aparecen (hacia el S) a partir del Frente Polar. Lo mismo ocurre con los nitratos aunque sus valores empiezan a ser altos a partir del borde septentrional del Frente Polar. En la parte inferior se ha representado la estructura térmica de las aguas correspondientes.



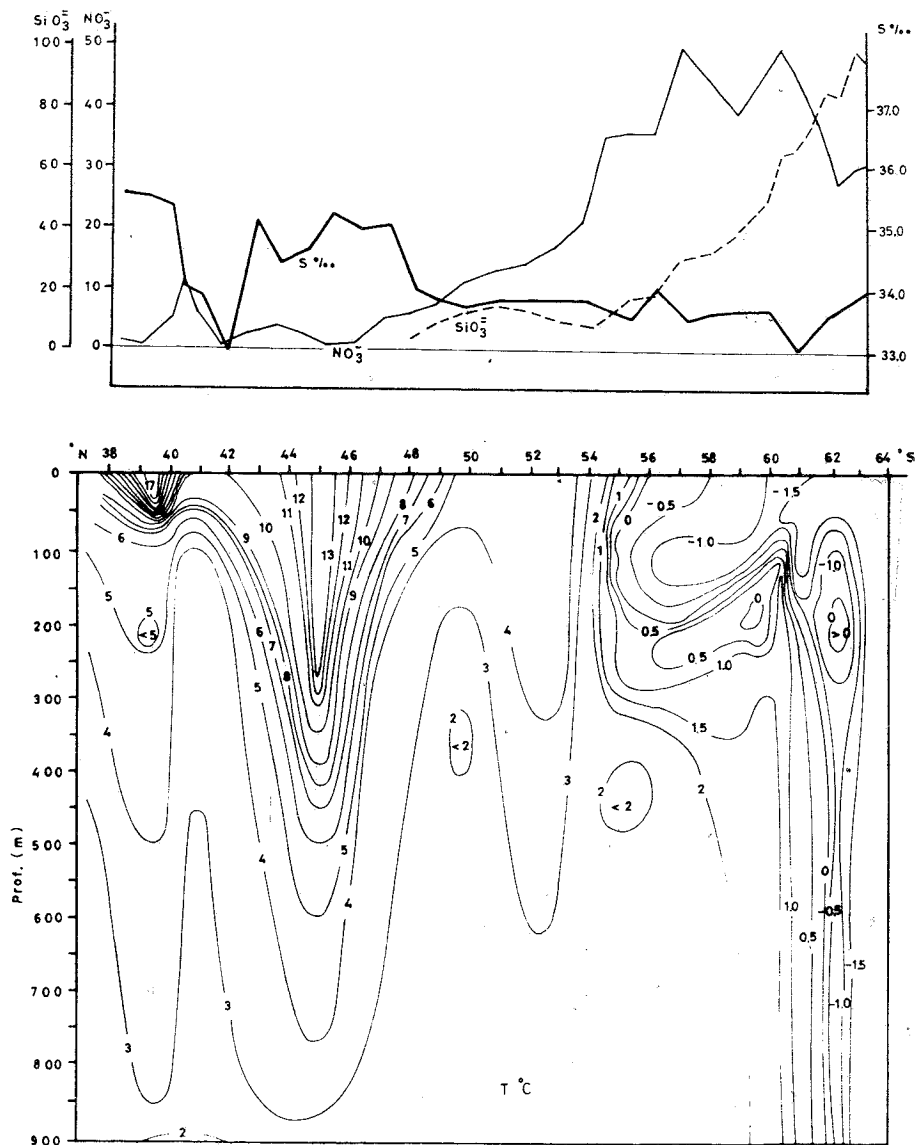


FIGURA 4.—Es igual a la anterior pero con el registro continuo de salinidad en vez del de la Temperatura.

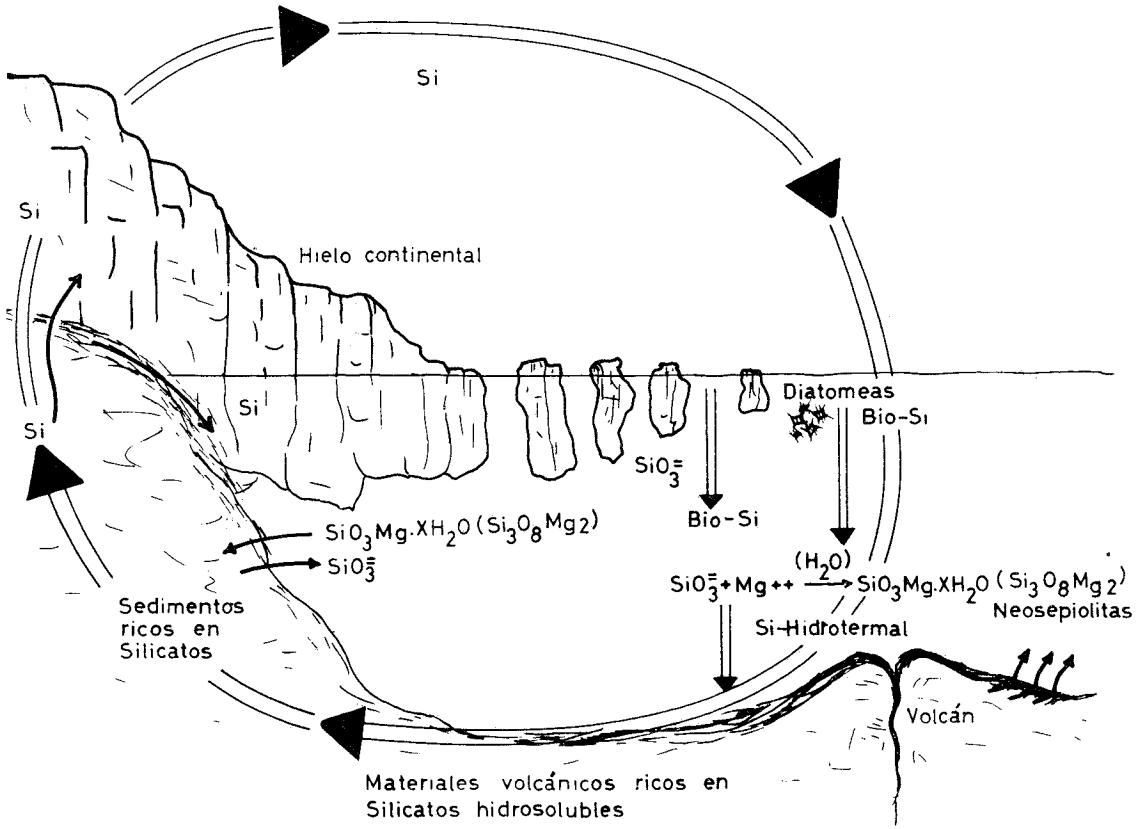


FIGURA 5.—Esquema que se propone para el ciclo del Si en el Antártico.

TABLA I

Resultados analíticos de los materiales muestreados en las Islas Shetland del Sur en  $\mu\text{mols/l}$

Muestras	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{SiO}_3^=$	$\text{PO}_4^=$
Agua de mar Admiralty Bay	20.80	0.51	78.90	2.25
Nieve en la estación Arctowski	0.30	0.37	—	—
Hielo del glaciar "ecologic"	1.60	0.32	9.50	0.75
Agua en la estación Arctowski	9.10	0.28	63.70	—
Aguas de deshielo (riachuelos)				
1	—	—	57.50	3.50
2	—	—	27.50	—
3	0.24	—	68.80	—
4	0.49	—	35.00	—
5	0.37	—	66.30	—
6	0.85	—	45.00	—
7	1.22	—	45.00	—
11	2.44	—	76.30	—
14	5.12	0.09	47.50	—
Laboratorio "Siberia"	4.70	0.42	12.40	6.25
Glaciar "ecologic"	6.60	1.20	63.70	4.13
Torrente Colina Arctowski	0.46	0.40	474.00	0.88
Agua en la capa freática de Thomas Point	95.20	0.44	293.30	—
Roca 1	—	—	18.00	1.20
Roca 2	0.13	—	63.00	ND
Isla Livingston				
1: Torrente Jhonson's Dock	2.03	—	51.45	—
2: Torrente Campamento	0.07	—	4.20	—
3: Base Argentina	4.68	—	28.60	—
Isla Decepción S.W. 0 metros	10.30	—	45.80	—
Lago Interior	0.19	—	831.00	—

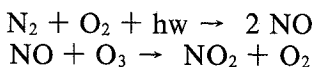
se han encontrado asociados, en algunos casos, a los de silicio. No obstante, para explicar las altas concentraciones en  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$  y  $\text{SiO}_3^=$  detectadas en todos los mares del Antártico, es preciso introducir el efecto de concentración debido a la formación de hielo superficial. Este fenómeno se produce repetidamente a lo largo de casi todo el año y, en consecuencia, existe una continua exportación de agua dulce hacia el N y una formación de agua densa muy rica en nutrientes que se distribuye en todos los niveles de las aguas antárticas. Para verificar la eficacia concentradora de este mecanismo, se instaló en los laboratorios de Arctowski un modelo experimental que permitió confirmar el fenómeno (Tabla II).

TABLA II  
Concentración por congelación

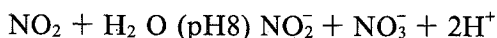
Concentración en agua de mar de:	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SiO <sub>3</sub> <sup>=</sup>
I. Elephant antes de congelar	28.40	78.50
Aguas de 1ª congelación	30.00	75.90
Aguas de 2ª congelación	36.90	118.50
Aguas de 3ª congelación	60.60	206.20
Hielo de 1ª congelación	8.70	25.00

— Ciclo geológico del nitrógeno

Los nitratos ofrecen una problemática muy distinta puesto que las rocas analizadas presentan valores muy bajos o nulos de este parámetro. El origen de las grandes cantidades de nitratos detectadas en las aguas antárticas (figuras 3 y 4) podría atribuirse, como hipótesis de trabajo, a fenómenos de naturaleza muy distinta. Recientemente se han incrementado los estudios para explicar la disminución del contenido de ozono en la atmósfera antártica. Algunos autores mencionan, como posible explicación del fenómeno, la destrucción del O<sub>3</sub> por el NO presente en el aire. Este óxido se habría formado por la acción ionizante de las intensas radiaciones cósmicas que inciden sobre las zonas polares a expensas de N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> presentes en la atmósfera.



Finalmente el NO<sub>2</sub> daría NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> al entrar en contacto con el agua



A fin de iniciar un experimento para verificar esta hipótesis se instaló un dispositivo especial en el laboratorio de campaña de la playa de Thomas Point. La capacidad del agua de mar para reaccionar con el NO<sub>2</sub> presente en la atmósfera antártica se ensayó burbujeando aire a través de una columna de agua de mar exenta de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y SiO<sub>3</sub><sup>=</sup>. Los resultados obtenidos fueron concluyentes y se descartó la posibilidad de una contaminación por aerosoles procedentes de las aguas de Admiralty Bay, analizando simultáneamente el contenido en silicatos del agua de referencia. Después de 72 horas de ensayo, la concentración de nitratos presente había pasado de 0 a 9 μM y la de nitritos de 0 a 1 μM, mientras que la concentración de silicatos se mantuvo en nivel cero. El ciclo del nitrógeno podría ser el propuesto en la figura 6. Este experimento no puede aún considerarse definitivo pero abre amplias perspectivas para el estudio de los fenómenos

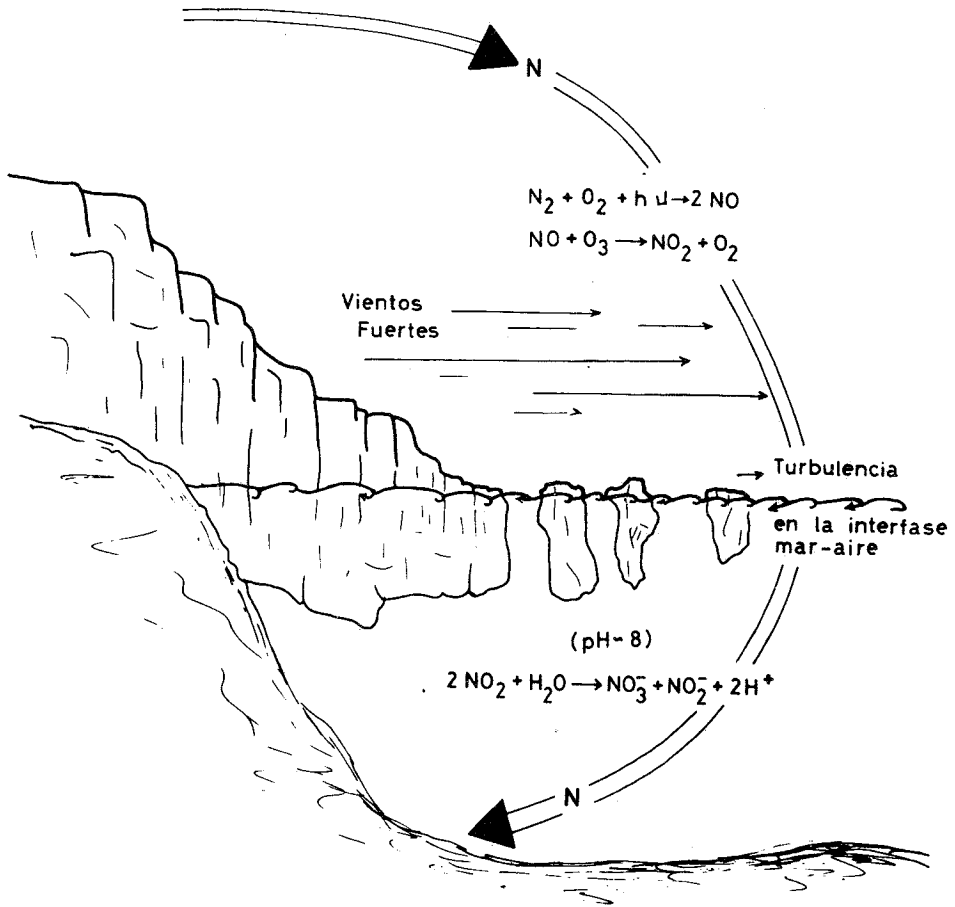


FIGURA 6.—Esquema propuesto para el ciclo del Nitrógeno en el Antártico.

de intercambio agua-aire. Estos resultados implican un contenido de  $\text{NO}_2$  en el aire de 2,5 ppb suponiendo que la reacción se efectúa con un rendimiento 100%.

### Aspectos biológicos

La difícil accesibilidad del entorno antártico hace que cualquier incursión realizada en la zona deba aprovecharse al máximo no sólo en favor del equipo participante, sino que éste actúa como muestreador recogiendo material destinado a grupos de trabajo que lo han solicitado.

Durante esta campaña se ha prestado especial atención al muestreo de líquenes. La cobertura vegetal más importante en el antártico está formada por comunidades de líquenes cuya diversidad, durante el verano austral, llega a ser espectacular.

El muestreo consistió en fotografiar al individuo y el entorno donde se desarrolla, con anotaciones del lugar preciso de recolección, altitud y orientación. Los ejemplares generalmente se muestreaban con una parte del sustrato y, después de un secado en el laboratorio de la base, se etiquetaban y embalaban para su transporte.

Con esta estrategia se recogieron alrededor de un centenar de muestras en la Isla de King George, Decepción y Livingston.

También se hizo un muestreo de plantas superiores, aunque, debido a su rareza en estas latitudes, éste fue muy reducido.

Para otro grupo de trabajo se recogieron muestras destinadas al aislamiento y estudio de bacterias. El muestreo se realizó con material estéril inoculado en medios especiales para el transporte. Tanto el almacenamiento de las muestras como su envío a España se ha realizado a temperaturas inferiores a 5° C.

En el laboratorio de la base se realizaron experimentos de crecimiento bacteriano en muestras de agua mantenidas a temperatura ambiental para determinar la actividad heterotrófica bacteriana. Estas experiencias se complementaron con la determinación de actividad a distintas concentraciones de materia orgánica a fin de determinar el factor limitante de la actividad bacteriana que predomina en estas latitudes.

Durante el período de estancia en la base Arctowski también se realizaron experimentos de cultivos de fitoplancton utilizando agua de mar de distintos tipos como medio de cultivo. Estos corresponden a la zona tropical (recogida durante el trayecto de llegada) y de agua típicamente antártica (muestreada cerca de Elephant Island). Las aguas tropicales de superficie estaban total-

mente agotadas desde el punto de vista de su contenido en nutrientes ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ). No son capaces, por tanto, de soportar ninguna actividad fotosintetizadora. Por el contrario, las aguas antárticas son muy ricas en silicatos (alrededor de  $100 \mu\text{M}$ ), nitratos (unos  $35 \mu\text{M}$ ) y fosfatos (valor medio  $2,7 \mu\text{M}$ ). No obstante son aguas muy pobres desde el punto de vista de su contenido en biomasa y su productividad primaria es casi nula. Todo ocurre como si en las aguas antárticas faltara algún factor de crecimiento que podría encontrarse aún en las aguas tropicales cuando éstas detienen la actividad fotosintetizadora por haber agotado totalmente las sales biogénicas.

La pobreza biológica de las aguas antárticas, muy ricas en nutrientes y bien iluminadas durante el verano austral, ha sido detectada durante la presente expedición y en la del "Alte. Irizar' 85". Pero no se trata de una situación permanente puesto que se producen, durante el verano, verdaderas y frecuentes explosiones de productividad fitoplanctónica. Las discontinuidades de esta fenomenología tienen lugar tanto en el espacio como en el tiempo y parecen estar asociadas a la fusión de la banquisa, la dispersión de los témpanos y la mezcla de aguas de distinta procedencia.

Los fenómenos de mezcla fueron detectados durante el estudio hidrográfico del estrecho de Bransfield que separa la Península de Palmer y la cadena de islas Shetland del Sur. Durante el mismo se realizaron lanzamientos frecuentes de sondas XBT (figura 7) así como sondeos con CTD y estaciones convencionales (figura 8). En el talud que separa Bransfield del estrecho de Drake se producen mezclas verticales muy activas que se detectan por aumentos importantes de la temperatura, de los nutrientes principales y de la actividad fotosintetizadora deducible de la abundancia de plancton. Así, en los transectos G-F, G-B, C-E (figuras 9 y 10) se observan valores altos de la temperatura y la salinidad en las proximidades del talud correspondiente a la cadena de islas Shetland del Sur (temperaturas positivas de hasta  $+2^\circ \text{C}$  y salinidades superiores a  $34,4\%$ ) debido a la influencia del agua circumpolar profunda relativamente cálida y de salinidad superior al agua intermedia antártica (SIEVERS y NOWLIN, 1984). Nitratos y Silicatos presentan también valores más altos en las proximidades del sector C-G pero las máximas concentraciones de dichos nutrientes se sitúan en las proximidades del sector B-F donde las salinidades tienden a ser inferiores a las del entorno E, probablemente debido a la influencia de los aportes de agua y hielo procedentes del Mar de Weddell. Por lo menos así lo sugieren los resultados obtenidos por RAKUSA-SUSZCZEWSKI et al. (comunicación personal) en recientes estudios sobre la circulación superficial en el Estrecho de Bransfield.

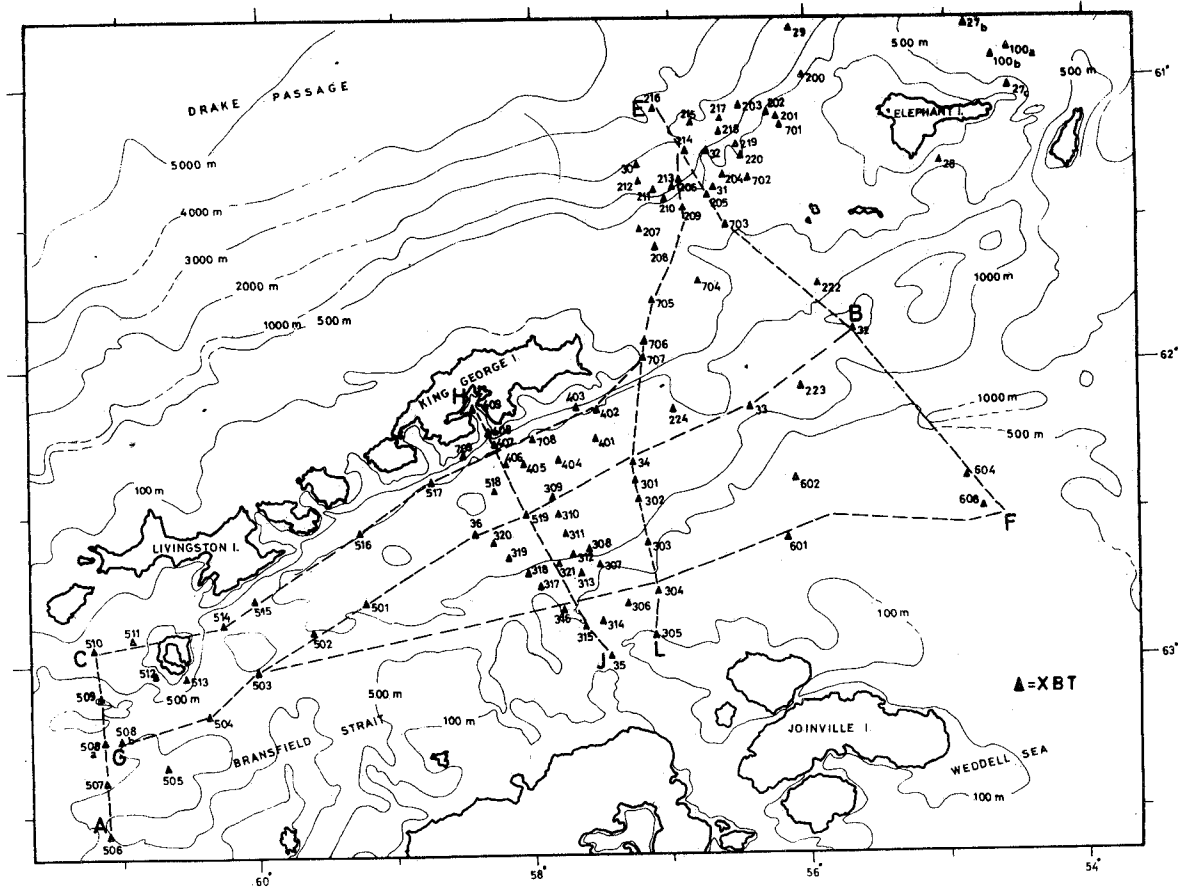


FIGURA 7.—Situación de los puntos de lanzamiento de sondas XBT durante el estudio del Estrecho de Bransfield.



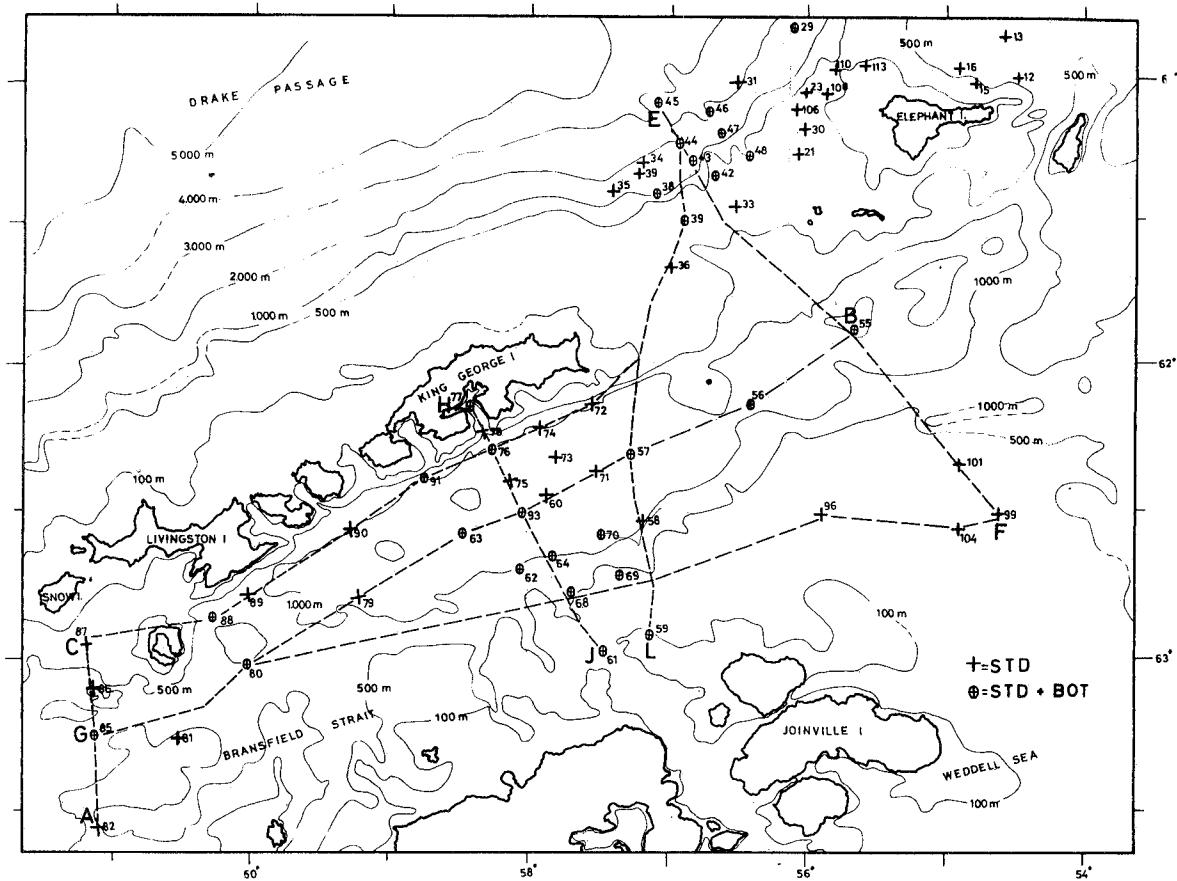


FIGURA 8.—Situación de las estaciones (CTD y Botellas Niskin) estudiadas durante la campaña "Antartic' 86".

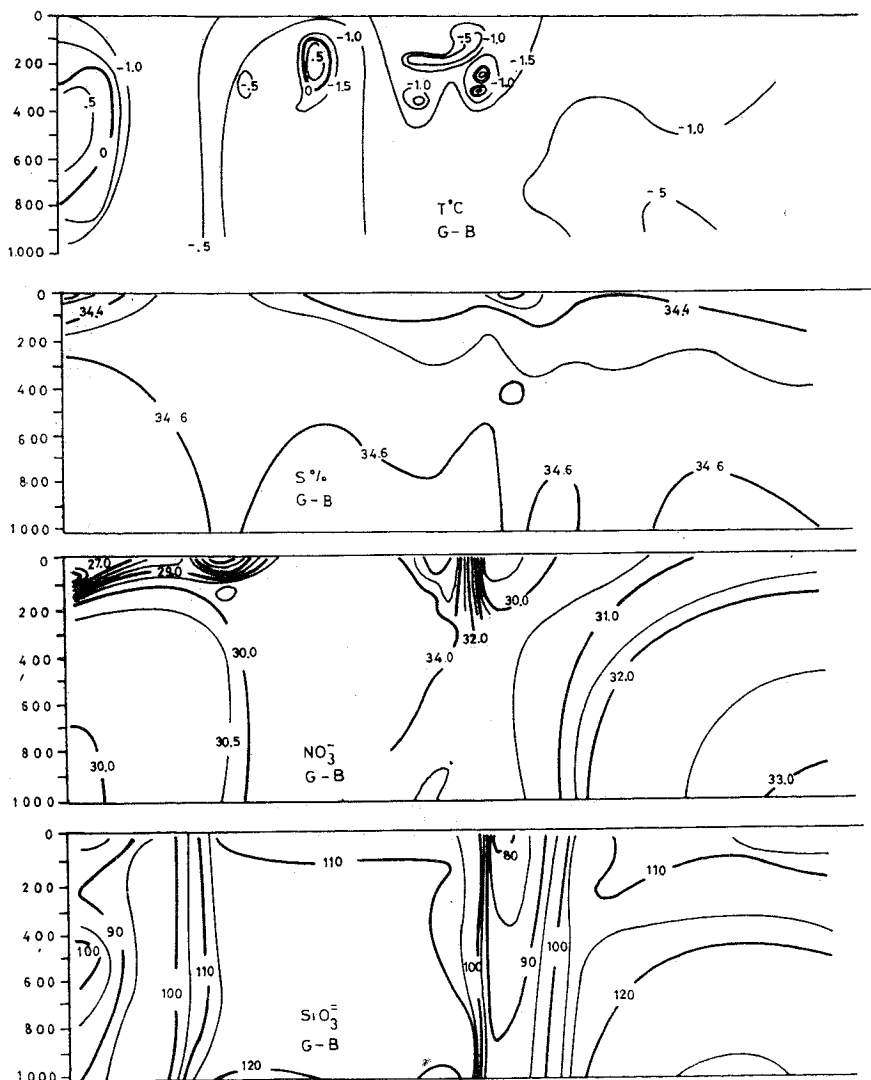


FIGURA 9.—Distribución vertical de Temperatura, Salinidad, Nitratos y Silicatos en el transecto G-B indicado en la figura 9.

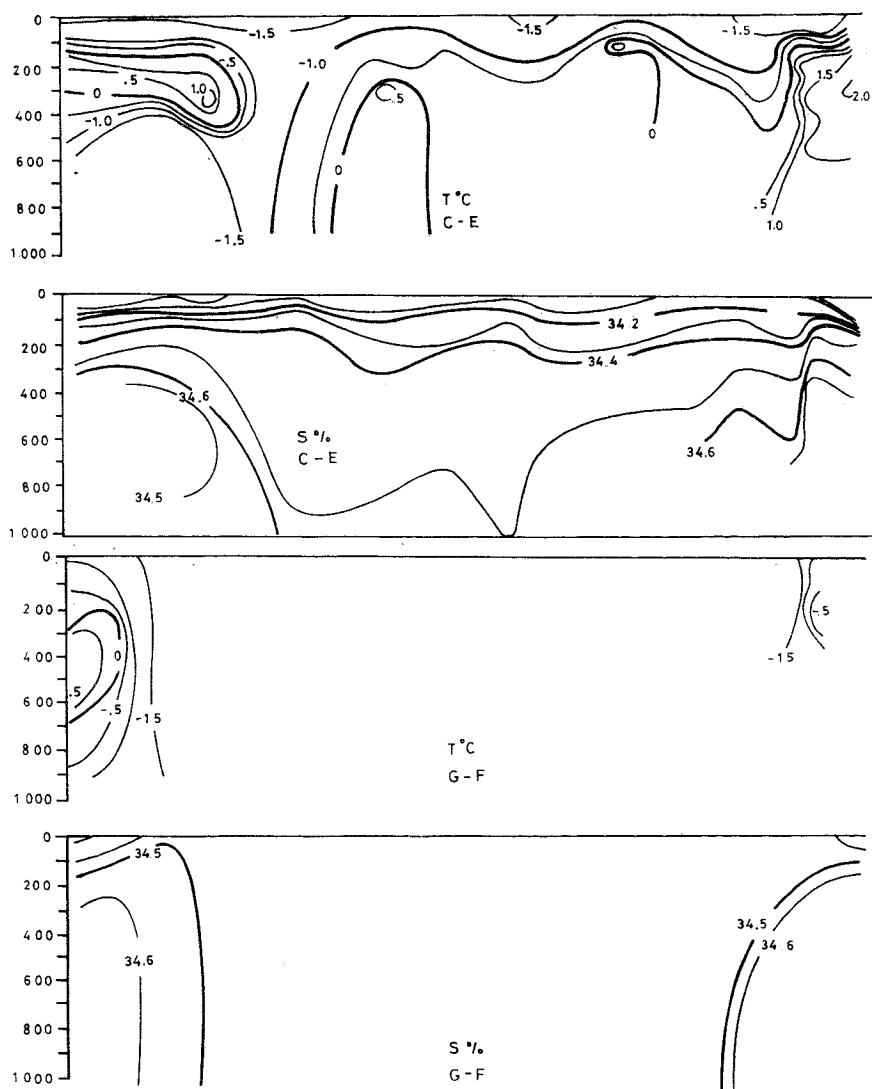


FIGURA 10.—Distribución vertical de temperatura y salinidad en los transectos C-E y G-F indicados en la figura 9.

**BIBLIOGRAFIA**

- BALLESTER, A., et al.** (1972). Análisis automático continuo de las características físicas, químicas y biológicas del mar. *Publs. Técnicas Patr. "J. de la Cierva"* 1:1-72.
- DEACON, G.:** (1984). *The Antarctic Circumpolar Ocean*. Cambridge University Press, Cambridge, England, 180 pp.
- EL-SAYED, S.Z.:** (1970). Antarctic Marine phytoplankton studies in 1969-1970. *Antarctic Journal of the United States* 5:94-95.
- OSTAPOFF, F.:** (1965). Antarctic Oceanography. *Biogeography and Ecology in Antarctica*. Dr. W. Junk Publishers. The Hage.
- RUBIN, M. J.:** (1965). Antarctic Climatology. *Biogeography and Ecology in Antarctica*. Dr. W. Junk Publishers. The Hage.
- SIEVERS, H. A. and NOWLIN, W. D. Jr.:** (1984). The Stratification of Water Masses at Drake Passage. *Journal of Geophysical Research*, vol. 89, Nº C6, pág. 10. 489 - 10. 514.
- WOLLAST, R., MACKENZIE, F. T. and BRICKER, O. P.:** (1968). Experimental precipitation of sepiolite at earth, surface conditions. *Am. Min.*, 53, 1945-1962.
- WOLLAST, R. and GARRELS, R. M.:** (1971). Difussion coefficient of silica in seawater. *Nature Phys. Sci.*, 229 (3), 94.