

## GYROSCOPE. UNA CONTRIBUCIÓN A UN SISTEMA DE OBSERVACIÓN CLIMÁTICO-OCEÁNICO

Gregorio PARRILLA BARRERA\*, Eugenio FRAILE NUEZ\*\*, Pedro VÉLEZ BELCHÍ\*,  
Alonso HERNÁNDEZ GUERRA\*\*, Alicia LAVÍN MONTERO\*,  
Elena TEL\* y Daura VEGA MORENO\*\*

\* *Instituto Español de Oceanografía (gregorio.parrilla@md.ieo.es)*

\*\* *Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*

### RESUMEN

El Océano es uno de los principales componentes del sistema climático, tanto por sus propias características como por la intensidad de sus interacciones con otras partes de tal sistema. Una de las principales desventajas al estudiar el océano, en particular su papel en el clima, es la dificultad de su observación. Últimamente se ha puesto gran empeño en el establecimiento de un sistema de observación oceánico, similar al meteorológico, una de cuyas piezas es Argo, del que Gyroscope es su contribución europea. Tal proyecto consiste en el despliegue en todos los océanos de 3000 perfiladores equipados con sensores de temperatura, salinidad y presión capaces de muestrear una columna de agua de 2000 m durante 4 años.

**Palabras clave:** Océano, circulación termohalina, sistema de observación, Argo, Gyroscope.

### ABSTRACT

*The ocean is one of the main components of the Climate System, because of their own characteristics and its intense interaction with other parts of the system. One of the main drawbacks in studying the ocean, particularly its role in the climate, is the difficulty of its sampling. Lately, big efforts have been employed in the setting of an oceanic observing system similar to the meteorological. One of their main pieces is Argo, whose European contribution is Gyroscope. Argo will deploy 3000 profilers equipped with temperature, salinity and pressure sensors able to sample the 2000 m water column for 4 years.*

**Keywords:** *Ocean, thermohaline circulation, observing system, Argo, Gyroscope.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Hasta hace unas décadas, al mentar el clima, se le relacionaba automáticamente, y casi exclusivamente, con la atmósfera o con restos geológicos que nos hablaban de climas pretéritos. Hoy día sabemos que el sistema climático tiene varias componentes (PEIXOTO y OORT, 1992) entre los cuales se encuentra el océano. Sus propias características y propiedades intrínsecas evidencian su influencia sobre el clima.

Un 50 % de la energía solar incidente es absorbida en la superficie terrestre de la que el mar cubre un 75 %. El mar contiene el 97 % del total de agua del ciclo hidrológico. El calor específico del agua de mar es muy grande (unos 4 órdenes de magnitud mayor que el de la atmósfera): un estrato

oceánico de 3 m de espesor tiene la misma capacidad calorífica que toda la atmósfera. El océano responde más lentamente que la atmósfera al calentamiento o enfriamiento, en consecuencia el ciclo estacional oceánico se retrasa respecto al continental. Los contrastes de temperatura entre tierra y mar dan lugar a una gran variedad de respuestas atmosféricas, desde brisas hasta monzones.

El 85 % del agua evaporada procede del mar. El vapor de agua es uno de los principales componentes del grupo de sustancias que contribuyen al efecto invernadero. Además, cuando este vapor se condensa suministra a la atmósfera el 24 % de la energía que recibió del sol en el momento de la evaporación. Esta energía está disponible inmediatamente para impeler la circulación atmosférica.

Aunque la cuantificación del transporte de calor por el océano ha estado sujeta a controversias, paradójicas por otro lado –los meteorólogos dando más importancia al transporte oceánico y los oceanógrafos al atmosférico (CARISSIMO *et al.*, 1985; TALLEY, 1984)–, su magnitud es similar a la de la atmósfera, con un máximo de unos 2 PW hacia el N, sobre los 24°N (PARRILLA *et al.*, 1994). Su eficiencia es similar a la de la atmósfera, con la diferencia de que en el océano este transporte tarda mucho más, años y/o décadas.

Para escalas de tiempo inferiores a 1000 años el océano es el principal depósito del dióxido de carbono. El CO<sub>2</sub> atmosférico de origen natural y el producido por la quema de combustibles fósiles son una pequeña fracción del que se encuentra en el mar y los sedimentos. Aproximadamente el 35 % de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> en los últimos 100 años ha sido absorbida por el mar. Ajustes relativamente pequeños en la circulación oceánica podrían afectar significativamente la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, incluso si se llegaran a estabilizar las emisiones de origen antropogénico.

El nivel del mar se ha elevado del orden de 1,5 mm por año en el último siglo (DOUGLAS, 1991). La fusión de hielo ha contribuido con unos 0,4 mm al año (MEIER, 1984), la expansión termal con unos 0,8 mm por año (CHURCH *et al.*, 1991) y los movimientos terrestres el resto. Es importante reconocer que los cambios del nivel a largo plazo son pequeños comparados con aquellos que ocurren a escalas de tiempo inferiores (mareas, olas, tormentas, etc). La cuestión preocupante es la asociación de esa elevación gradual del nivel del mar con una combinación de los mencionados efectos de periodo más corto.

## 2. RELACIÓN CLIMA-CIRCULACIÓN OCEÁNICA. UN EJEMPLO

La componente, hacia los polos, del movimiento de las aguas superficiales, la distribución vertical y horizontal de las densidades y la interacción de la atmósfera con el océano da lugar a la circulación termohalina que, según estimaciones actuales, es una de las principales manifestaciones de la actividad del océano en el clima.

En el Atlántico tropical el calentamiento solar y el exceso de evaporación sobre precipitación crean una capa superficial de agua relativamente tibia y salina. Es transportada, hacia el polo, a lo largo de la costa oriental del continente americano por el sistema de corrientes que depende de la distribución de vientos. Parte de esa agua fluye hacia el Ártico (a través de los pasajes entre Islandia y G. Bretaña). Durante su trayectoria va liberando calor a la atmósfera. La temperatura del agua baja hasta casi el punto de congelación. El agua superficial se hace más densa que las

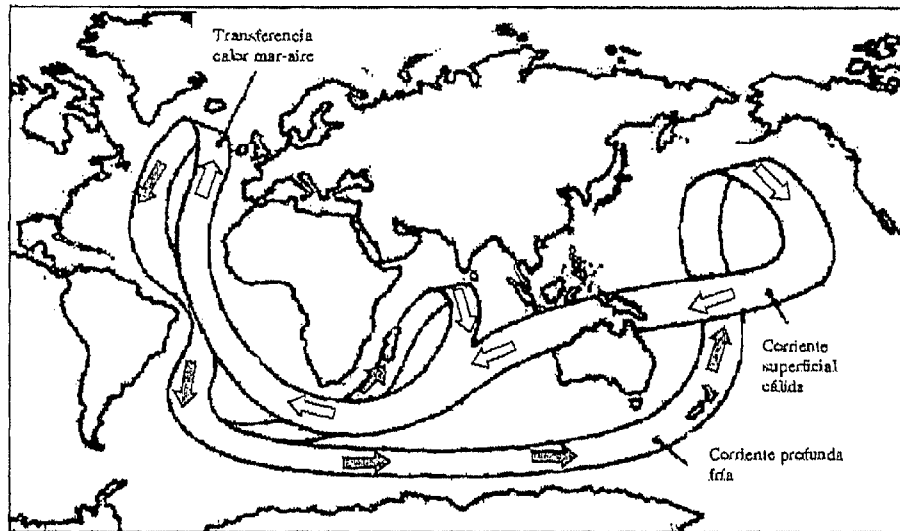


Figura 1: *Cinta transportadora*. Modelo conceptual de la circulación termohalina.

aguas subyacentes. Se inicia un movimiento de convección: las aguas superficiales más densas se hunden, ocasional y localmente, hasta el fondo. Aquí se mezcla con otras aguas, se propaga y fluye hacia el sur como una corriente profunda y fría.

Esta circulación termohalina: agua superficial caliente fluyendo hacia el norte, enfriándose, hundiéndose y luego fluyendo hacia el sur en las capas profundas, origina un enorme flujo de calor hacia el norte, comparable al atmosférico. En el continente Antártico sucede un proceso similar pero con una mayor producción de agua profunda.

El agua producida en estos dos sitios se extiende por todos los océanos. Lentamente se calienta al mezclarse con las aguas suprayacentes y es empujada hacia arriba por el agua profunda que se sigue formando. En el curso de siglos este agua se va elevando gradualmente hasta que participa en la circulación oceánica forzada por el viento y llega a ser de nuevo parte de la capa calentada directamente por el sol, será transportada a altas latitudes y reiniciará el ciclo ya descrito. En el caso más extremo, en el Pacífico, este ciclo puede durar 1000 años.

La circulación termohalina descrita en los párrafos anteriores ha dado lugar al término *cinta transportadora del océano* (fig. 1) que es la representación conceptual y bastante simplificada de aquella parte de la circulación termohalina general de los océanos que parece tener una relación más directa con el cambio climático. Según BROECKER (1991) esta cinta está impelida por un ligero exceso de sal en el Atlántico respecto a los otros océanos.

El efecto más visible de la circulación en el Atlántico Norte es el de la gran cantidad de calor suministrado a la atmósfera. Calor que es responsable de los suaves inviernos europeos si se com-

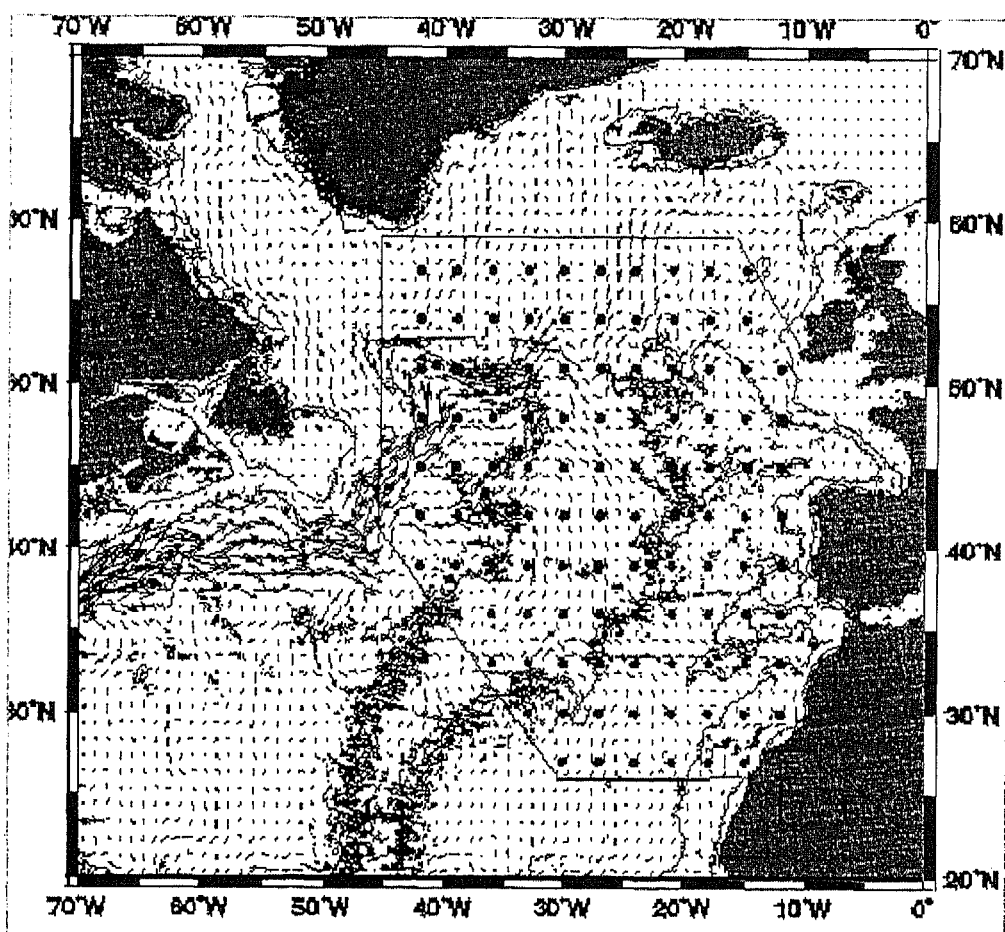


Figura 2: Situación del lanzamiento de los perfiladores Argo en Gyroscope.

paran con el de otras regiones a la misma latitud. Cada  $\text{cm}^3$  de agua de la parte superior de la cinta suministra 7 calorías a la atmósfera, lo que equivale al 35 % de la cantidad de calor suministrada por el sol al Atlántico más allá de los  $40^\circ\text{N}$  (BROECKER, 1991). Modelos actuales (MANABE y STAUFFER, 1988) han demostrado que si esta circulación cesara (si la cinta no estuviera operativa), lo que es una posibilidad real (VÉLEZ-BELCHI *et al.*, 2001), las temperaturas de las aguas superficiales noratlánticas descenderían unos  $5^\circ\text{C}$ .

### 3. SISTEMAS DE OBSERVACIÓN. ARGO

La observación oceánica clásica (campanías, fondeos, etc.) ha puesto de manifiesto la variabilidad de orden climático en el océano (PARRILLA *et al.*, 1994; LEVITUS *et al.*, 2000, DICKSON *et al.*, 2002) pero el muestreo es todavía escaso, caro y difícil. Los resultados del World Ocean Circulation Experiment (Ocean Circulation & Climate, 2001), el establecimiento de programas como CLIVAR (CLimate VARIability and Predictability, WCRP 103, 1998) y GOOS (Global Ocean Observing System, The GOOS Prospectus, 1998) y los cada vez más perentorios requerimientos de los gobiernos, la industria, la ciencia y el público en general, de una mayor y sistemática información sobre el mundo marino y sus problemas, han devenido en la necesidad de crear un sistema global de observación oceánico similar al meteorológico.

Uno de los posibles elementos de este sistema de observación es el que se está probando con el experimento piloto llamado Argo (AST, 2001) bajo los auspicios de la Organización Meteorológica Mundial y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental. Este programa internacional proyecta desplegar un conjunto de 3000 perfiladores sumergibles con el fin de proporcionar observaciones, en tiempo presente, de las estructuras de temperatura y salinidad de las capas superiores e intermedias de los océanos.

El perfilador derivará, generalmente, a una profundidad de unos 2000 m, subiendo a la superficie, mientras registra los valores de temperatura y salinidad, cada 10 días. Después de enviar su posición y los datos registrados en cada perfil vertical a una estación terrestre, a través de satélite, se vuelve a sumergir para empezar otro ciclo y continuar así durante unos 4 años, su tiempo previsto de vida. Estos perfiladores son los análogos a los globos radiosondas atmosféricos.

### 4. GYROSCOPE. RESULTADOS PRELIMINARES

En la actualidad algunas instituciones españolas, Instituto Español de Oceanografía, Univ. de Las Palmas de G.C. e Instituto de Ciencias del Mar-CSIC, participan en el proyecto europeo "Gyroscope" que es la contribución europea a Argo, liderada por la institución francesa Laboratoire de Physique des Océans (CNRS-IFREMER, Francia). Las demás instituciones participantes son Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Francia), Southampton Oceanographic Centre (Reino Unido), Service Hydrographique et Oceanographique de la Marine (Francia), Collecte Localisation Satellite (Francia), Institut für Meereskunde Kiel (Alemania), UK Meteorological Office (Reino Unido). El proyecto, con un coste total de 2.930.769 Eu y una duración de 36 meses (a partir de enero 2001), contribuirá con unos 80 perfiladores que se están lanzando en el Atlántico norte (fig. 2).

Gyroscope ya ha puesto en el agua, a partir de marzo de 2002, varios de estos perfiladores, parte de cuyos resultados pueden verse en las figuras 3, 4 y 5. En la primera se dan las distribuciones verticales de la temperatura potencial (ésta es la temperatura del agua cuando es transportada adiabáticamente desde su profundidad original a la superficie) y la salinidad obtenidas a partir de los sensores del perfilador Q1900071 durante una de sus emergencias periódicas. En la figura 4 se muestran las derivas de los perfiladores entre periodos de emergencias, ello nos da un orden de magnitud de la velocidad del agua a la profundidad de aparcamiento (1500 m) del perfilador. Por último en la figura 5 se muestra la distribución vertical de la temperatura y la salinidad en los bordes de la caja virtual extendida, de límites 24,5 y 30°N y 18° y 42°W, a lo largo de los cuales se lanzaron los 19 perfiladores, en marzo de 2002, a partir de cuya información se ha trazado la mencionada distribución. Los cálculos con los valores de las variables mostradas: salinidad, temperatura y derivas, permiten observar la variabilidad de las características de las masas de agua y cuantificar sus flujos volumétricos y de energía y sus cambios.

Los datos en tiempo presente serán distribuidos automática y sistemáticamente a los servicios meteorológicos nacionales a través del GTS para la predicción diaria de rutina. La información sobre las aguas subsuperficiales será usada, en modo diferido, en los modelos acoplados océano-atmósfera, esenciales para la predicción a más largo plazo. Estos datos oceanográficos, públicos y gratuitos, accesibles en la página <http://www.coriolis.eu.org>, serán también asimilados en modelos oceánicos operacionales, así como para condicionar los modelos numéricos y compararlos con modelos rutinarios. La información sobre los campos de temperatura y salinidad a diferentes profundidades, capa de mezcla, profundidad de la termoclina y su variabilidad temporal y espacial, suministrada de una manera periódica, será de gran importancia para investigaciones del clima, su modelización y su variabilidad.

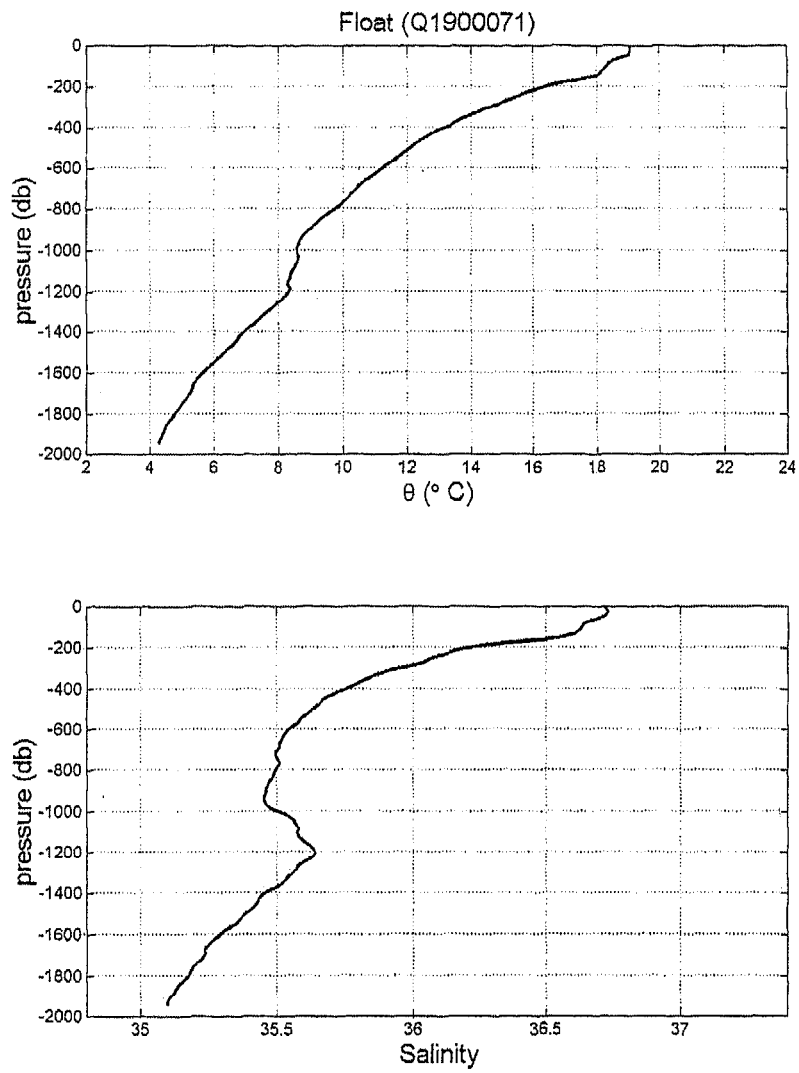


Figura 3: Registros verticales de la temperatura potencial y la salinidad obtenidos por el flotador ( 190071 en una de sus emergencias.

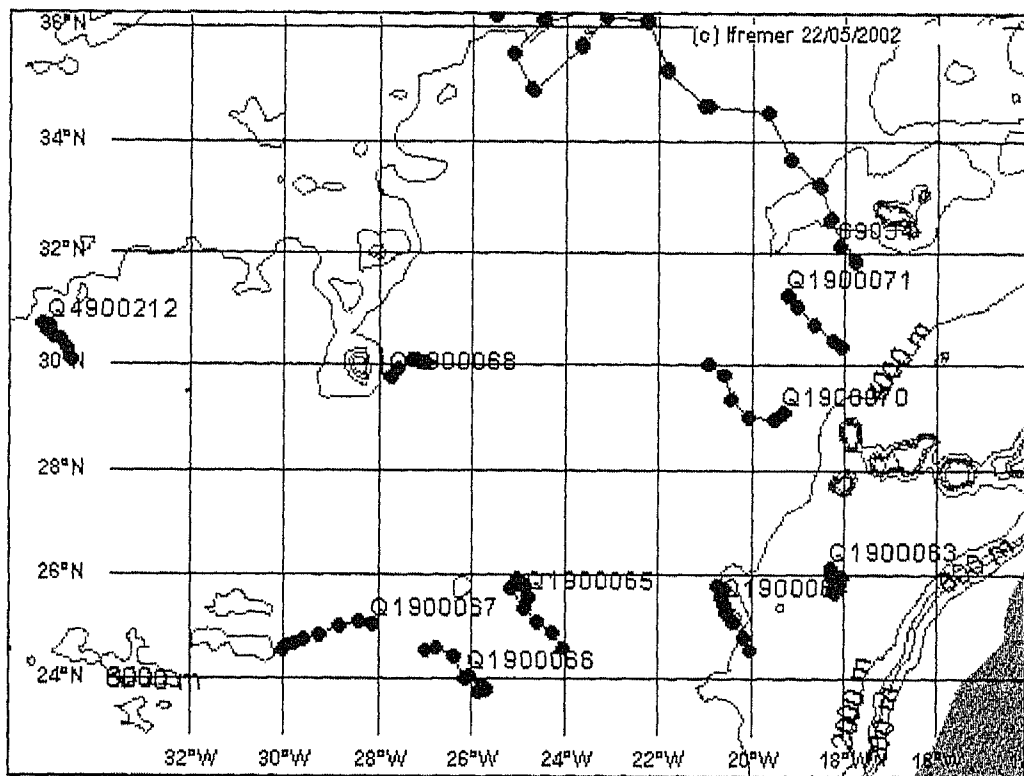


Figura 4: Deriva de algunos de los perfiladores lanzados en marzo, 2002, a lo largo de las latitudes 24,5°N y 30°N. El punto más oscuro marca la última posición.



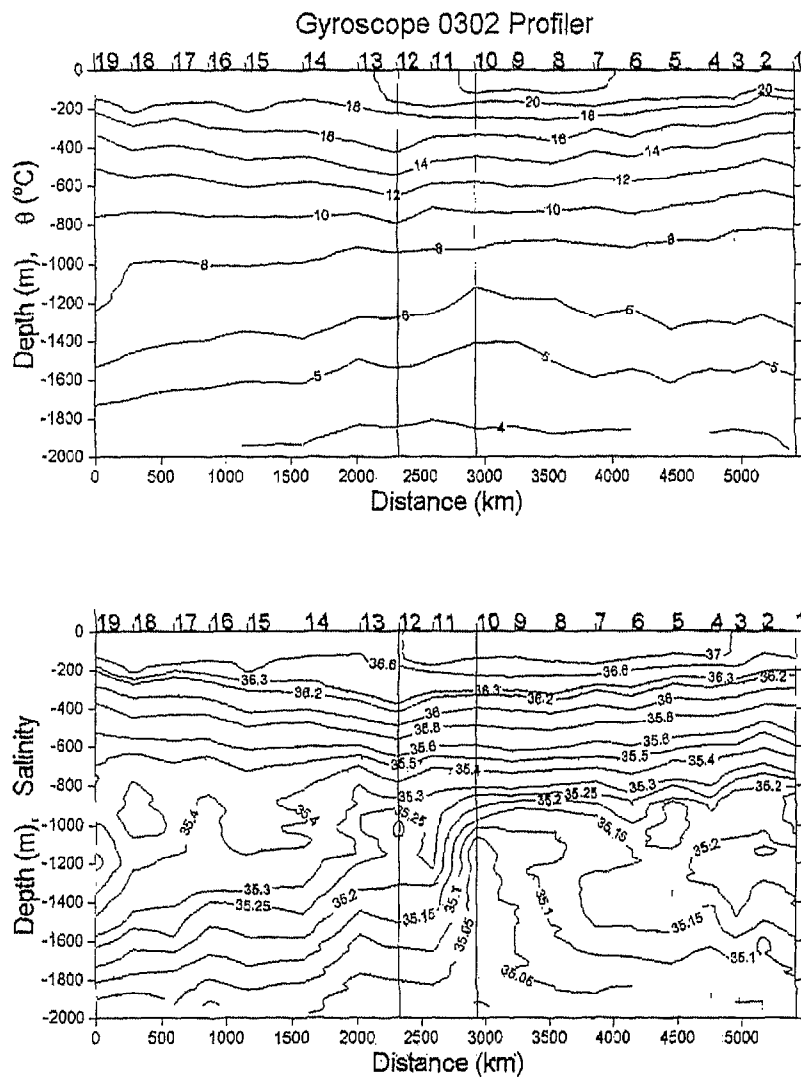


Figura 5: Distribución de la temperatura y salinidad a partir de los valores obtenidos por los perfiladores. Del número 1 al 19, ambos inclusivos, fueron lanzados en la latitud  $24,5^{\circ}\text{N}$ , entre los  $18^{\circ}\text{W}$  y  $42^{\circ}\text{W}$ . Del 12 al 19, entre las mismas longitudes pero a la latitud  $30^{\circ}\text{N}$ .

## 5. REFERENCIAS

- AST (2001). *The Argo Science Team. Argo: the global array of profiling floats*. www.argo.ucsd.edu.
- BROECKER, W.S. (1991): The Great Ocean Conveyor. *Oceanography* 4(1), pp. 79-89.
- CARISSIMO, B.G., OORT, A.H. y VON DER HAAR, T.H. (1985): Estimating the meridional energy transports in the atmosphere and the ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 15, pp. 82-91.
- CHURCH, J.A., GODFREY, J.S., JACKETT, D.R. y McDOUGALL, T.J. (1991): A model of sea level rise caused by ocean thermal expansion. *Journal of Climate* 4, pp. 438-455.
- DICKSON, B., YASHAYAEV, I., MEINCKE, J., TURRELL, B., DYE, S., y J. HOLFORT, (2002): Rapid freshening of the deep N. Atlantic Ocean over the past four decades. *Nature*, 416, pp. 832-836.
- DOUGLAS, B.C. (1991): Global sea level rise. *Journal of Geophysical Research*. 96, pp. 6981-6992.
- The GOOS Prospectus* (1998). GOOS Pub. No. 42.
- LEVITUS, S., ANTONOV, J.L., BOYER, T.P., y STEPHENS, C. (2000): Warming of the World Ocean. *Science*, 287, pp. 2225-2229.
- MANABE, S. y STAUFFER, R.J. (1988): Two stable equilibria of a coupled ocean atmosphere model. *Journal of Climate*, 1, pp. 841-866.
- MEIER, M.F. (1984): Contribution of small glaciers to global sea level. *Science*, 226, pp. 1481-1421.
- SIEDLER, G., CHURCH, J. y GOULD, J., Eds. (2001): *Ocean Circulation & Climate*, Academic Press.
- PARRILLA, G., LAVÍN, A., BRYDEN, H., GARCÍA, M. y MILLARD, R. (1994): Rising temperatures in the Subtropical N. Atlantic over the past 35 years. *Nature*, vol. 369, pp. 48-51,
- PEIXOTO, J.P. y OORT, A.H. (1992): *Physics of climate*, ISBN 0-88318-711-6, Ed. AIP.
- TALLEY, L.D. (1984): Meridional heat transport in the Pacific Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 14, pp. 231-241.
- VÉLEZ-BELCHÍ, P., ÁLVAREZ, A., COLET, P., TINTORÉ, J. y HANEY, R.L. (2001): *Stochastic Resonance in the thermohaline circulation*. *Geophysical Research Letters*, vol.28 (10), pp. 2053-2057.
- WCRP 103 (1998): *CLIVAR Initial Implementation Plan*.