

**PROYECTO ARGAU  
MEDICION DE CO2 Y DE PARAMETROS FISICO-QUIMICOS Y BIOLÓGICOS  
ASOCIADOS, EN EL ATLANTICO SUR, OCEANO AUSTRAL Y ANTARTIDA**

**Alberto R. Piola (1,2), Gustavo Ferreyra (3) y Carlos F. Balestrini (1)**

*e-mail* [apiola@hidro.gov.ar](mailto:apiola@hidro.gov.ar),  
[gferreyra@mail.dna.gov.ar](mailto:gferreyra@mail.dna.gov.ar)  
[cfbales@mail.retina.ar](mailto:cfbales@mail.retina.ar)

**RESUMEN**

*Durante la 3ra. Etapa de la Campaña Antártica de Verano 1999/2000 se desarrolló a bordo del rompehielos A.R.A. "Almirante Irizar" la Campaña Oceanográfica "Argau Zero". La misma fue la primera de una serie que se prevé continuar durante los próximos años en el marco del proyecto "ARGAU", un emprendimiento conjunto multidisciplinario del que forman parte el Servicio de Hidrografía Naval, el Instituto Antártico Argentino y el Laboratorio de Física y Química Marinas de la Universidad Pierre et Marie Curie, París, Francia. El principal objetivo de este proyecto es determinar el rol de la dinámica y de los procesos biológicos en el balance del CO<sub>2</sub> del Atlántico Sur y del Océano Austral. El proyecto impactará sobre el conocimiento de los recursos del medio ambiente regional y forma parte de otros estudios relacionados con el proceso de calentamiento global del planeta. Los objetivos del proyecto serán alcanzados a partir del relevamiento de diversas propiedades físico-químicas y biológicas del mar.*

**ABSTRACT**

*During the 3th stage of the Antarctic Summer-Campaign 1999/2000, the Oceanographic Cruise "Argau Zero" was carried out on board the icebreaker A.R.A. ALMIRANTE IRIZAR. This cruise was the first of a multi-year experimental effort in the framework of the project "ARGAU", a multidisciplinary joint venture between Servicio de Hidrografía Naval, Instituto Antártico Argentino and Laboratoire de Physique et Chimie Marines of Paris, France. The main goal of the project is to determine the influence of the dynamics and of the biological processes in the CO<sub>2</sub> balance of the South Atlantic and the Southern Ocean. The project is important advance the understanding of the resources of the regional environment and for other studies related with the process of global warming. The project goal will be will be reached based on the measurement and evaluation of various physical, chemical and biological properties of the sea.*

## **Introducción**

Actualmente se acepta que el océano juega un papel fundamental en la evolución de la concentración del CO<sub>2</sub> de la atmósfera y, como consecuencia, sobre la evolución del clima del planeta. En efecto, el océano desempeña un rol regulador (como fuente o sumidero) del CO<sub>2</sub> atmosférico, no solamente por su dinámica (corrientes, mezcla turbulenta, intercambios de calor con la atmósfera), sino también por los efectos inducidos por la vida marina.

No obstante las incertidumbres existentes acerca de la estimación del flujo global mar-atmósfera de CO<sub>2</sub>, todos los estudios actuales convergen en señalar el rol primordial del Océano Austral, y particularmente de su sector Atlántico, en la evolución del CO<sub>2</sub> atmosférico y en lo referente a los cambios climáticos previstos para los próximos años. En este sentido, se supone que el Océano Austral sería el que reaccionaría más rápida e intensamente a los aumentos previstos del CO<sub>2</sub> de origen antrópico agregado a la atmósfera.

El proyecto "Argau", que además de las instituciones participantes cuenta con el respaldo del "Programa de Cooperación Argentino-Francesa de Formación Científica y Tecnológica (SECyT-ECOS)", se apoya en tres temáticas diferentes y de desarrollo simultáneo:

- 1) **Una aproximación química del balance de CO<sub>2</sub>.** Responsable: Diana Ruiz Pino, Laboratorio de Física y Química Marinas (LPCM), Universidad Pierre et Marie Curie, París.

Una de las mayores incertidumbres actuales en la estimación del balance del CO<sub>2</sub> en la interfase océano-atmósfera es el rol del Océano Antártico, incertidumbre que conduce en el presente a resultados contradictorios entre las estimaciones de los modelos atmosféricos, oceánicos y aquellos deducidos de las mediciones de campo. Esto se debe en gran medida a la escasez de datos confiables de las especies carbonadas en esta región, particularmente durante el invierno.

El equipo del LPCM se constituye en responsable del estudio geoquímico del sistema CO<sub>2</sub>/carbonatos durante el desarrollo del proyecto.

- 2) **Una aproximación de la dinámica de los procesos físicos.** Responsable: Alberto Piola, Servicio de Hidrografía Naval (SHN), Armada Argentina y Universidad de Buenos Aires.

La circulación oceánica del Atlántico Sur y Austral juega un rol muy importante, no solamente en cuanto a su influencia sobre el clima regional y sobre los recursos marinos y económicos de los países del cono austral de América del Sur, sino también en cuanto al clima global. La plataforma continental y la cuenca argentinas (estudiadas desde hace aproximadamente 20 años por el grupo de Dinámica Oceánica del SHN) contienen uno de los frentes oceánicos más intensos y energéticos del océano mundial -la confluencia Brasil/Malvinas-, que constituye el punto de encuentro de diferentes masas de agua de orígenes diversos y remotos. Una gran cantidad de interrogantes subyace aún acerca de la variabilidad estacional e interanual de los procesos que provocan dicha variabilidad. Esto es de particular interés en lo que se refiere al Pasaje Drake, donde se observa que

la variabilidad de la corriente Circumpolar Antártica regula la circulación global, no solamente del Atlántico Sur, sino que también controla aquella del Océano Índico y parte de las corrientes del Océano Pacífico, influenciando consecuentemente al clima mundial.

El equipo del SHN es el responsable del estudio de la circulación y de las masas de agua dentro del proyecto “Argau”.

3) **Una aproximación biológica acerca de los diversos regímenes tróficos y las poblaciones fitoplanctónicas.** Responsables: Gustavo Ferreyra e Irene Schloss, Instituto Antártico Argentino (IAA), Dirección Nacional del Antártico.

El estudio de la llamada “bomba biológica” permitirá determinar la cantidad de CO<sub>2</sub> absorbida y/o producida por la actividad del fitoplancton marino que se desarrolla en la capa iluminada superficial del océano, así como la producción neta del carbono exportado hacia las aguas profundas en forma de partículas, resultante del balance energético de la comunidad planctónica. El bombeo de CO<sub>2</sub> depende de la estructura de la red trófica dominante, la cual, a su vez, es determinada por la circulación oceánica, la dinámica de la capa de mezcla oceánica y por los procesos que tienen lugar en el interior de la comunidad.

El equipo del IAA tendrá la responsabilidad del estudio de la diversidad de regímenes tróficos en la región, que es una de las zonas más ricas del mundo en fitoplancton calcáreo, con dominio de fitoplancton silicio, éste último particularmente al sur del Frente Polar. Esto permitirá cuantificar y comparar la eficacia de cada uno de los regímenes tróficos con relación al transporte de CO<sub>2</sub> mar- atmósfera.



*Figura 1. El rompehielos A.R.A. “Alte. Irizar” operando en la Antártida*

**Objetivos del proyecto**

- Estimar la variabilidad espacial y temporal (estacional, interanual) de la distribución de CO<sub>2</sub> en las aguas superficiales, y parámetros asociados.
- Estudiar la variabilidad espacio-temporal de los procesos físicos de superficie relacionados con el clima.

- Determinar la importancia relativa de los diferentes tipos de redes tróficas y de las diferentes especies fitoplanctónicas sobre el flujo de CO<sub>2</sub> intercambiado con la atmósfera.
- Comparar el rol de los procesos dinámicos sobre la distribución de las diferentes especies fitoplanctónicas.

### ***Materiales y métodos***

El proyecto ARGAU propone la puesta en marcha del primer programa multidisciplinario de observación in-situ simultánea de la variabilidad de parámetros físicos, biológicos y geoquímicos con el objetivo principal de cuantificar los flujos de CO<sub>2</sub> océano-atmósfera en la región. En este contexto, entre los días 20 de marzo y 14 de mayo de 2000 se realizó la primera campaña oceanográfica del programa, denominada Argau Zero. La misma se desarrolló a bordo del rompehielos A.R.A. *ALMIRANTE IRIZAR* como parte de la tercera etapa de la campaña antártica de verano 1999/2000. Durante la misma se implementó un muestreo siguiendo dos modalidades complementarias:

Se realizó un muestreo continuo y automático de temperatura, salinidad, presión parcial de CO<sub>2</sub> (pCO<sub>2</sub>) atmosférico y oceánico en superficie, fluorescencia (como estimador de biomasa fitoplanctónica), presión atmosférica, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, temperatura del aire e irradiancia en el espectro visible, mediante la utilización de un sistema integrado desarrollado en el LPCM. La instalación y puesta en funcionamiento de este equipo fueron realizadas a bordo del buque por los participantes del proyecto. La Figura 2 muestra una vista de parte del equipamiento instalado en el laboratorio oceanográfico del rompehielos A.R.A. *ALMIRANTE IRIZAR*.



***Figura 2***

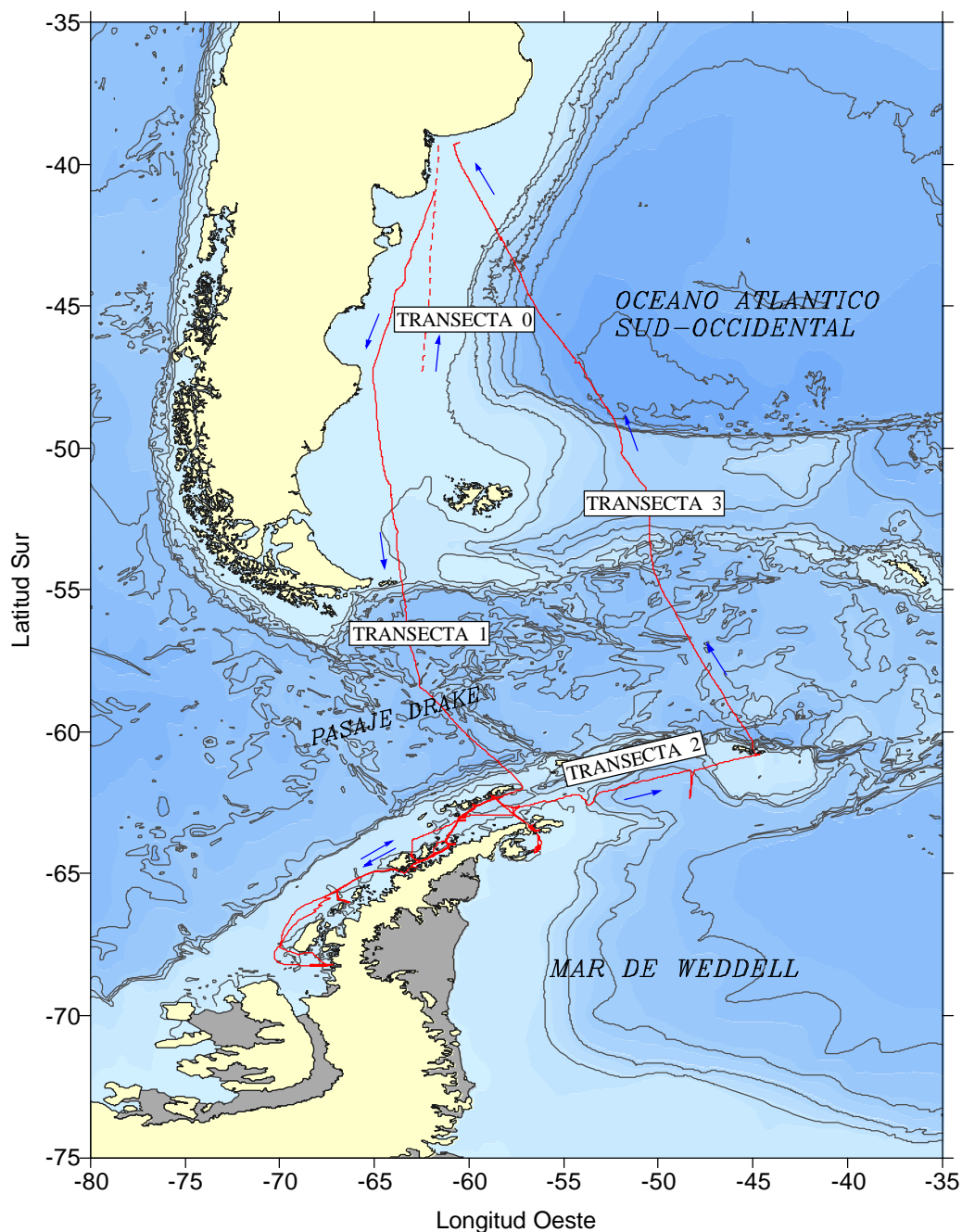
El agua de mar fue obtenida a partir de una toma situada en el casco a 9 metros de profundidad, desde donde una bomba de baja disipación térmica la elevó hasta alcanzar una celda colectora que permite, simultáneamente, eliminar burbujas, y regular y distribuir el caudal hacia el resto del instrumental. La salinidad y la temperatura fueron medidas utilizando un termosalinómetro de alta resolución. La pCO<sub>2</sub> se evaluó mediante un analizador IR. La medición de pCO<sub>2</sub> en superficie se realizó de manera indirecta utilizando una celda de intercambio gaseoso, en donde un pequeño volumen de aire alcanza el equilibrio con una

cantidad infinita de agua de superficie. Para realizar las correcciones correspondientes y establecer la  $p\text{CO}_2$  in-situ (Copin-Montegut, 1988), la celda de intercambio dispone de un termómetro y un barómetro propios. Se realizaron calibraciones automáticas cada seis horas para garantizar que la deriva del analizador IR fuese mínima.

Para ello se utilizaron tres patrones de 270, 360 y 490 ppm, que abarcaron todo el rango de medición. En los trabajos de Takahashi (1961), Copin-Montegut (1985) y Poisson et al. (1993) pueden hallarse más detalles sobre este instrumental. Las muestras para evaluar la  $p\text{CO}_2$  del aire se obtuvieron en proa, teniendo en cuenta la dirección del viento, para que las mismas no estuviesen sesgadas por las emisiones del propio buque. La presión atmosférica, temperatura del aire, velocidad y la dirección del viento se evaluaron mediante una estación meteorológica automática instalada en una de las cubiertas superiores del buque. Para estimar la biomasa fitoplanctónica se utilizó un fluorómetro de funcionamiento continuo. Todas las señales de los sensores fueron conducidas hasta una interfase multicanal y de allí transferidas a una PC para su almacenamiento en forma digital. Todos los datos almacenados se encuentran geo-rreferenciados por un sistema de posicionamiento satelital (GPS), el que también registra la hora GMT.

Paralelamente se realizó un muestreo discreto, no automatizado, cada dos, tres o cuatro horas (según las distintas etapas de la navegación). En este caso se obtuvieron muestras para analizar alcalinidad total (TA), carbono inorgánico disuelto (DIC), oxígeno disuelto, concentración de clorofilas, concentración de nutrientes, composición, distribución y abundancia de bacterias y fitoplancton. Las muestras para TA y DIC fueron tratadas con una solución de Hg para eliminar toda actividad biológica y selladas herméticamente para su posterior análisis en los laboratorios del LPCM en París. La concentración de oxígeno disuelto fue determinada a bordo siguiendo el método de Winkler modificado por Carpenter (1965). Para determinar la concentración de clorofilas se filtró un volumen conocido de agua superficial; los filtros utilizados fueron congelados y analizados con posterioridad mediante técnicas espectrofotométricas (Strickland y Parsons, 1972). Los filtros utilizados fueron de diámetros nominales de poro de 0,7, 5 y 10  $\mu$ , respectivamente. Las muestras para el estudio de bacterias fueron fijadas con formol y conservadas a 7°C. Se obtuvieron dos tipos de muestras de fitoplancton, unas de tipo cuantitativo y otras de tipo cualitativo. Ambos tipos de muestras se colocaron en frascos de 250 ml de material plástico color oscuro, siendo preservadas con 1 ml de solución de lugol. Las muestras cualitativas se tomaron filtrando agua extraída del circuito de alimentación del equipo de medición en continuo con una red de 30 micrones. En este último caso, las muestras se obtuvieron de manera integrada durante distintos intervalos de tiempo, según el grado de colmatación observado en la red. La mayor parte del material vivo fue observado y fotografiado a bordo utilizando un microscopio. Asimismo se obtuvieron muestras para realizar un estudio microscópico exhaustivo aplicando técnicas de microscopía óptica y microscopía electrónica de barrido (MEB) (Fryxell et Hasle, 1970; Ferrario et al., 1995). El material tratado y sin tratar pasará a formar parte de la colección de microalgas "Argau", que será depositada en el Departamento de Ficología de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Universidad Nacional de La Plata. El recuento celular será realizado según la metodología de Utermöhl (1958). Una parte importante de la determinación de los distintos taxa presentes en las muestras cualitativas se realizó en navegación, llegando a nivel de género y/o especie en el caso de la mayor parte de las diatomeas.





**Figura 3.** Derrota de la campaña “Argau Zero”

La medición de las variables indicadas y el muestreo descrito correspondientes a los tramos de navegación oceánica y/o sobre la plataforma continental fueron desarrollados y agrupados en la forma de cuatro piernas, mientras que el resto de la información obtenida corresponde a una vasta zona próxima a la península antártica que se extiende hacia el sur hasta Bahía Margarita, lindera a la base antártica San Martín (Figura 3). La pierna “0” se realizó entre los días 24 y 25 de marzo de 2000, la pierna “1” entre el 27 de marzo y el 1° de abril de 2000, la pierna “2” entre el 5 y el 7 de mayo de 2000 y la pierna “3” entre el 7 y el 12

de mayo de 2000; el área observada correspondiente a la península antártica fue relevada entre el 1° de abril y el 2 de mayo de 2000. Los resultados preliminares de esta campaña se encuentran en la fase final de su procesamiento y serán presentados en una publicación elaborada conjuntamente por los tres grupos de investigación participantes.

### **Personal científico participante en el proyecto**

- *Instituto Antártico Argentino:*  
Ferrario, Martha E. (CONICET)  
Ferreira, Gustavo A.  
Sala, Hernán (UBA)  
Schloss, Irene R.
  
- *“Laboratoire de Physique et Chimie Marines” (LPCM):*  
Archambeau, Anne-Sophie  
Poisson, Alain R.  
Ruiz-Pino, Diana  
Saraceno, Martin (UBA/CONICET)  
Schauer, Bernard
  
- *Servicio de Hidrografía Naval:*  
Balestrini, Carlos F.  
Bianchi, Alejandro A.  
Molina, Daniel A.  
Piola, Alberto R. (CONICET y UBA)

### **Referencias bibliográficas:**

- Carpenter, J.H., 1965, The accuracy of the Winkler method for dissolved oxygen analysis, *Limnology and Oceanography*, 10, 135-140.
- Copin-Montégut, C., A method for the continuous determination of the partial pressure of carbon dioxide in the upper ocean, *Marine Chemistry*, 17, 13-21, 1985.
- Ferrario, M. E., E. A. Sar & S. E. Sala, 1995. Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las Diatomeas. In: K. Alveal, M. E. Ferrario, E. C. Oliveira y E. Sar (Eds.). *Manual de Métodos Ficológicos*. Editorial A. Pinto, Chile :1-23
- Hasle, G. R. & G. A. Fryxell, 1970. Diatoms: Cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 89(4): 469-435.
- Poisson, A., N. Metzl, C. Brunet, B. Schauer, B. Bres, D. Ruiz-Pino and F. Launchi, Variability of sources and sinks of CO<sub>2</sub> in the Western Indian and Southern Oceans during the year 1991, *Journal of Geophysical Research*, 22, 759-778, 1993.
- Strickland, J.D.H. y Parsons, D.R. (1972) A practical handbook of seawater analysis. J. Fish. Res. Bd. Can Bull 167:1-310.
- Takahashi, T., Carbon dioxide in the Atmosphere and in Atlantic Ocean water, *Journal of Geophysical Research*, 66(2), 477-494, 1961.
- Utermöhl, H., 1958. Perfeccionamiento del método cuantitativo de fitoplancton. *Comun. Assoc. Int. Limnol. Teor. Apl* 9:89. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitt. int. Verein. theor. angew. Limnol.* 9:1-38.