

— 1 —

**LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA  
EN EL OCÉANO AUSTRAL**

*Dr. D. Manuel Catalán Pérez-Urquiola.  
Contralmirante. Secretario Técnico del Comité Polar Español,  
Universidad de Cádiz.*



*Dr. D. Manuel Catalán Pérez-Urquiola.  
Contralmirante. Secretario Técnico del  
Comité Polar Español, Universidad de  
Cádiz.*

Oficial del Cuerpo General de la Armada. Escuela Naval Militar.  
Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense.  
Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense.  
Ingeniero Superior en Tecnología Nuclear por la Universidad de California en Berkeley.  
Master en Estudios Superiores en Ciencias Físico Matemáticas, Astronomía y Geofísica.  
Especialista en Física de Altas Energías por la Junta de Energía Nuclear.

Director del Real Instituto y Observatorio de la Armada.  
Director de la Escuela de Estudios Superiores de la Armada.  
Comandante y Director científico de las Campañas Antárticas en el Océano Antártico.  
Director científico de las campañas antárticas en el Mar de Bransfield. (Antártica) de la Universidad de Cádiz.

Secretario Técnico del Comité Polar Español.  
Delegado de España en el Comité de Protección del Medio Ambiente Antártico.  
Profesor Colaborador Honorífico de la Universidad de Cádiz.  
Delegado de España en el *Consejo de Responsables de los Programas Antárticos Nacionales (Council of Managers National Antarctic Programs COMNAP)*.  
Presidente del grupo de Actividades Marítimas en el Océano Antártico del *Consejo de Responsables de los Programas Antárticos Nacionales (COMNAP)*.

Tiene publicados 140 artículos en revistas nacionales e internacionales y escrito 4 libros sobre tecnología de satélites artificiales aplicados al estudio del Océano.

## 1 · LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN EL OCÉANO AUSTRAL

*Dr. D. Manuel Catalán Pérez-Urquiola.  
Contralmirante. Secretario Técnico del Comité Polar Español,  
Universidad de Cádiz.*

### 1 · EL DESARROLLO DE LAS RESERVAS ENERGÉTICAS EN LA BASE DE UN POSIBLE CAMBIO DEL CLIMA

El “Efecto Invernadero” se basa, fundamentalmente, en el hecho de que mientras la atmósfera es transparente y permite la entrada a la energía emitida por el sol, se oscurece para la radiación re-emitida en el Infrarrojo desde la superficie del planeta. En estas condiciones, cuanto más dióxido de carbono se encuentre en la atmósfera, más oscura será para la radiación emitida y tanto más alta será la temperatura del planeta.

Si no existiera un cierto efecto invernadero, provocado por una determinada concentración de anhídrido de carbono, la superficie de la Tierra alcanzaría temperaturas inferiores a la de congelación, impidiendo el desarrollo de la vida en el planeta. Alternativamente una alta concentración de dióxido de carbono, como ocurre en Venus, permite un elevado efecto invernadero, alcanzándose temperaturas superiores a 500° C y, con ello, la evaporación total de sus masas de agua impidiendo, igualmente, el desarrollo de la vida tal y como nosotros conocemos

Es un hecho evidente en sí que el creciente, masivo y sostenido consumo de los combustibles fósiles está actualmente llevando a las sociedades de los países industrializados a enfrentarse con dos problemas fundamentales. Por una parte se enfrentan a la necesidad de asegurar el suministro seguro, a un precio razonable y competitivo, de las energías fósiles que necesitan para el mantenimiento de su

actividad competitiva, puestos de trabajo, bienestar y desarrollo, lo que conlleva una importante dependencia política de los países productores que disponen del suministro y, por otra parte, el impacto directo que su consumo masivo está teniendo sobre el sistema Terrestre, incluyendo la posibilidad de un cambio climático inducido por la actividad antropogénica.

Analizando la historia de la sociedad industrial podemos recordar que en sus inicios las necesidades energéticas se centraron en el uso de la madera y las reservas hidráulicas generadas por los cauces de los ríos y los pantanos pasándose, posterior y masivamente, al carbón, al gas y al petróleo, incluyendo el uranio y en los últimos años a la búsqueda de energías procedentes del calor subterráneo o alternativas procedentes, directa o indirectamente, de la energía eólica y solar, tratando de encontrar las claves de un desarrollo sostenible, cuyos residuos no contribuyan de forma directa al incremento de los gases de invernadero en la atmósfera.

Como es conocido los depósitos de petróleo y carbón se formaron a partir de la materia orgánica que crecía en zonas de marismas, fundamentalmente costeras y deltas de grandes ríos, donde en el pasado existieron grandes concentraciones de vegetación, y donde la estructura del terreno impidió el contacto de los sedimentos con el oxígeno y su rápida descomposición bajo la acción de las bacterias.

A lo largo de millones de años de enterramiento, bajo temperaturas y presiones crecientes, la materia orgánica se transformó en hidrocarburos líquidos y gaseosos, como el petróleo, que permaneció en el tiempo atrapado en aquellos lugares en que las estructuras geológicas crearon las barreras impermeables favorables como las trampas de antisinclinales, fallas y domos de sal.

Hoy se admite de forma generalizada que la revolución industrial, iniciada a mediados del siglo XIX, se vio favorecida por las explotaciones carboníferas en Inglaterra, Gales, Europa Central y las minas de los Apalaches, Pensilvania y Virginia del Oeste en Estados Unidos extendiéndose las prospecciones geológicas a todo el planeta, favoreciendo la exploración masiva de los recursos carboníferos,

en la medida que lo requería el desarrollo industrial.

Medio siglo después de la primera perforación petrolífera en Estados Unidos (1859) se inició un cambio en el combustible utilizado en las nuevas instalaciones industriales que sustituyeron el carbón por petróleo y gas. Estos nuevos combustibles no sólo quemaban con un menor residuo, sino que podían transportarse fácilmente por tubería, tren o barco.

La demanda mundial se ha acelerado a niveles en que el petróleo extraído en los últimos veinte años equivale a la producción total del último siglo. Se necesitan millones de años para que la naturaleza transforme de forma natural la energía solar en un combustible sólido, líquido o gaseoso que la humanidad consume en pocos años.

Desde entonces el consumo de las energías fósiles ha ido en aumento por lo que, al tratarse de un bien escaso y no renovable, cabe plantearse una pregunta sobre el margen de tiempo, que bajo las condiciones actuales, pueden durar las actuales reservas de hidrocarburos.

Desde el punto de vista del posible cambio climático hay que tener en cuenta que, comparado con el petróleo y gas natural, debe considerarse que la combustión del carbón entrega a la atmósfera una mayor cantidad de compuestos sulfurados, que aumentan el riesgo de lluvias ácidas, dejando las cenizas de su combustión un importante porcentaje del carbón quemado, con impurezas metálicas.

Teniendo en cuenta, además, que las reservas de carbón, convenientemente tratadas, pueden transformarse en hidrocarburos líquidos o gaseosos sintéticos que, a pesar de su mayor costo, poseen características comparables pudiendo, con el tiempo, sustituirlos o complementar en su uso.

A la hora de evaluar las reservas de hidrocarburos existentes en el planeta debe tenerse en cuenta y puede resultar de interés considerar que actualmente se suele dar por finalizado la explotación de un pozo, al considerarlo antieconómico, cuando aproximadamente

queda la mitad del petróleo en la bolsa, debido a la dificultad y costo de su extracción.

Actualmente se están desarrollando nuevas técnicas con vistas a poder mejorar la extracción bombeando hacia la periferia el agua, que junto al hidrocarburo llena la trampa, o inyectando vapor o dióxido de carbón a presión para disminuir la viscosidad del petróleo, facilitando su extracción, pero exigiendo una gran cantidad de agua 'in situ', no siempre disponible en zonas desérticas.

El crudo sintético puede también extraerse en el futuro, hasta alcanzar niveles de reserva potencialmente considerable, a partir de la destilación por calentamiento de los finos sedimentos impregnados de hidrocarburos solidificados, procedentes de depósitos, que han perdido por evaporación parte de los hidrocarburos más volátiles.

Actualmente se considera que las reservas de gas son comparables a las de hidrocarburos líquidos con la ventaja de que su transporte es más fácil y que su combustión entrega a la atmósfera una menor cantidad de anhídrido carbónico y cenizas, disminuyendo las posibilidades de la lluvia ácida.

Ha sido una continua búsqueda sistemática de nuevos recursos tratando de explorar nuevas reservas o re-explotar otras abandonadas, esperando que el encarecimiento de los combustibles haga rentables explotaciones ya conocidas y abandonadas por antieconómicas. La explotación de las reservas del Mar del Norte y algunas explotaciones del Golfo de Méjico se han visto aceleradas por la situación de inestabilidad en el Oriente Medio y el encarecimiento del precio internacional del crudo.

## **2 · LAS POSIBLES ALTERNATIVAS EN EL FUTURO. LAS ENERGÍAS LIMPIAS**

Respecto a la evolución del consumo energético en el futuro hay varias expectativas preocupantes que inducen a pensar que la demanda de energía aumentará en los próximos años. Parece lógico pensar que la probable industrialización de grandes comunidades

como la India , China y otros países en vías de desarrollo, con una alta tasa de población impulse, en los próximos años, la producción de petróleo hasta alcanzar un máximo e iniciar un descenso obligado por una crisis energética que potencialmente afectará al desarrollo y reordenará la producción con una política de reducción del consumo, mejor utilización de los recursos energéticos, y que teniendo en cuenta consideraciones de efecto sobre el medio ambiente potenciará la utilización de aquellas energías limpias, en el sentido de que no desprenden gases de invernadero ni lluvias ácidas, complementadas por grandes instalaciones de energía eólica renovable y, localmente, por la mayor difusión de la energía solar en sus aplicaciones locales.

El problema se presenta como altamente complejo , las naciones desarrolladas tienen un nivel básico de consumo energético, elevado según su grado de industrialización, que debe ser continuamente suministrado, entre otras cosas, para mantener nuestras necesidades industriales, los puestos de trabajo, el nivel de vida confortable o nuestros transportes. Lo anterior es un grave dilema que hace que debamos considerar, como una necesidad previa, el conocer exactamente lo que está ocurriendo en nuestro planeta, para actuar de forma razonable y eficaz, lejos de situaciones deseables pero simplistas.

Mediado el siglo XX se tuvo la esperanza de que la energía nuclear constituyera en el futuro una nueva e importante reserva de recursos energéticos, Estas expectativas se han visto considerablemente disminuidas por problemas relacionados por la difusión social de riesgos magnificados relacionados con su seguridad y el tratamiento de los residuos radiactivos.

Estos riesgos se han visto considerablemente aumentados con la información distribuida sobre la catástrofe de Chernobyl, dotada de reactores de diseño inseguro y carente de las normas de seguridad básicas que se aplican en la actividad de los reactores instalados en las sociedades occidentales. En este sentido debería igualmente recordarse el accidente similar del reactor de la Isla de las Tres Millas en Estados Unidos que, pese a haber supuesto la fusión del núcleo del reactor, no supuso ninguna emisión al exterior de la zona de seguridad.

Un problema adicional que suele plantearse al considerar el uso de la energía nuclear para producción eléctrica es el de sus residuos. Curiosamente cuando se efectúa el análisis del problema de los residuos, en el caso de los recursos energéticos de origen fósil, este problema no se plantea pues el residuo se esparce directamente a la atmósfera siendo la causa del posible cambio climático que tanto daño está causando al medio ambiente planetario. Por otra parte el tratamiento de los residuos radiándolos puede conducir, y de hecho conducirá en el futuro, a un cambio en la vida media de los isótopos que lo componen y, con ello, la disminución de la actividad de los residuos producidos o almacenados. Hay situaciones que deben pasarse al futuro y al desarrollo de nuevas tecnologías de tratamiento que permitan resolver el problema de los residuos procedentes de los reactores y almacenados en lugares adecuados y seguros.

Quizás resulte conveniente precisar algunas cifras poco conocidas sobre esta energía tan atacada y quizás tan necesaria para el control futuro de un posible cambio climático. La energía nuclear, evita la emisión al año de 2000 millones de Toneladas de CO<sub>2</sub> y genera hoy un tercio de la energía eléctrica que se produce en la Unión Europea, evitando así, la emisión de 700 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año a la atmósfera. Esta cifra equivale a que todos los coches que circulan por Europa, unos 200 millones, se retiren de las calles. Adicionalmente debería considerarse que los vertidos de las centrales nucleares al exterior, se pueden clasificar como mínimos, frenando la lluvia ácida, la acumulación de residuos tóxicos en el medio ambiente y la emisión masiva de gases de invernadero.

Ante estos datos resulta curioso el tratamiento masivo que, a veces, reciben pequeñas emisiones radioactivas que se producen en el funcionamiento de las Centrales, por averías o errores humanos resueltos fácilmente con escasos niveles de contaminación y donde, frecuentemente, se transmite al público no especializado una información magnificada que puede conducir a la impresión de encontrarnos ante situaciones catastróficas y al fomento de una concienciación social de rechazo a esta energía, de escaso costo, libre de presiones internacionales y limpia en la misión de efecto invernadero. Referente a las llamadas energías alternativas su utilización aparece igualmente como una necesidad imperativa en el sentido de que

generan electricidad a partir de la energía que se recibe del sol estando libremente disponible sin la producción de residuos de efecto invernadero. Sin embargo estos sistemas generan energía a partir de la que reciben en tiempo real, y dependen por tanto de las condiciones ambientales locales que se suceden a lo largo del tiempo en el lugar de su instalación. El precio del kilowatio es caro y su producción incierta al depender de la climatología local. Por otra parte la generación de energías consideradas limpias, como los biocombustibles, al basarse en cultivos, produce un encarecimiento en bienes de consumo básico, requieren una masiva superficie para su cultivo y contaminan el territorio, de forma considerable, con pesticidas y las energías fósiles que requiere el proceso.

Ante esta situación ha surgido la necesidad de plantear, desde el conocimiento científico, cual es la acción de los diferentes componentes del Sistema Terrestre y conocer los diversos efectos e interacciones estudiando la acción de los bosques tropicales, del océano y la atmósfera en los procesos de difusión y absorción del anhídrido carbónico y otros gases producidos en los procesos energéticos.

Para ello deberíamos contestar, desde el rigor de la ciencia, a algunas sencillas preguntas ¿Es real que se esté produciendo un cambio climático de origen antropogénico? ¿Cual es el papel de los océanos, y en especial del Antártico, sobre las oscilaciones que se observan en el clima? ¿Cuál es el efecto de la absorción del CO<sub>2</sub> en la atmósfera y en qué parte se absorbe en los océanos? ¿Cuál es la trayectoria de los residuos contaminantes en el océano? ¿Qué factores controlan las corrientes ascendentes y cuál es su efecto en la distribución de los nutrientes a nivel global?

La respuesta a estas y otras preguntas se encuentra, en gran parte, en procesos que ocurren en el entorno helado de los polos y justifican, de esta forma, la investigación polar y justifican que a los 50 años del Año Geofísico Internacional la sociedad se haya planteado el 4º Año Polar Internacional, para tratar de encontrar respuesta a procesos que enfrentamos por primera vez y afectan al futuro de nuestro planeta, al desarrollo de las economías de los países y quizás nuevamente a nuestra forma de vida.

### 3 · EL OCÉANO Y EL EQUILIBRIO DEL CLIMA GLOBAL

El océano, y en especial los mares australes juegan un papel fundamental en el sistema del clima global porque almacenan en sus masas de agua el calor que las corrientes trasladan alrededor del planeta, conectando las cuencas globales. La circulación oceánica es fundamental en el establecimiento del clima y se encuentra en gran parte influido por los procesos que ocurren en los océanos polares, especialmente en la formación del agua antártica de fondo en el Mar de Weddell en la región antártica que se genera con grandes intercambios de calor hacia la atmósfera.

El océano austral rodea en su conjunto al continente Antártico con un gigantesco anillo alimentado en su periferia y a profundidades entre 1000 y 3000 metros por las aportaciones del Atlántico, Pacífico e Índico. El hecho de que en el Océano Austral se reúnan los tres océanos principales del planeta explica, de alguna forma, que un desequilibrio del sistema oceánico austral podría provocar, por ejemplo, la fusión de los hielos acumulados en su litoral y afectar al transcurrir de los glaciales, con consecuencias fundamentales para el equilibrio termodinámico del planeta.

Por otra parte, y a lo largo de su trayecto alrededor del polo, las diferentes componentes de las masas de agua, procedentes del Atlántico, Índico y Pacífico pierden su individualidad y se mezclan para formar un agua única que se conoce como “Agua Circumpolar Profunda”. Estas masas de agua profunda están enriquecidas en nutrientes desde su lejano origen en el Hemisferio Norte, habiendo incorporado todos los componentes esenciales de la vida marina antes de entrar en el sistema Antártico. Como en todos los mares, la materia orgánica se sedimenta desde las aguas superficiales, siendo degradada en profundidad por las bacterias en un proceso de mineralización.

El Agua Antártica de Fondo (Antartic Bottom Water, AABW) es la masa de agua más extendida a nivel de los océanos planetarios y se forma durante el invierno alrededor del continente antártico, especialmente en los mares de Weddell y Ross. En las regiones polares,

tanto en el Ártico como en el Antártico, el agua superficial es fría y poco salina debido a la alta pluviometría y a los procesos de deshielo. Bajo esta capa superficial se encuentran masas de agua más calientes pero de mayor densidad debido a una más alta salinidad, pudiendo romperse esta estabilidad en invierno por los fuertes y fríos vientos al formarse la banquisa y aumentar la salinidad de las aguas superficiales.

Uno de los procesos fundamentales que se desarrollan en la interacción del hielo con el agua tiene lugar en las zonas de la banquisa donde se forman áreas de agua libre de hielos (polynyas). Las polynyas costeras se forman donde los fuertes vientos rompen el hielo de la banquisa alejándole de la zona costera dejando expuesta al ambiente invernal una zona de agua de 50 a 100 km de anchura. En estas condiciones el viento aleja el hielo del continente en la medida que se va formando exponiendo nuevas zonas de agua a su acción en un proceso extraordinariamente energético donde el océano cede calor a la atmósfera mientras se forma la banquisa.

El calor latente de formación de hielo calienta las masas de agua superficiales, calor que pasa a la fría atmósfera antártica mientras el agua expuesta permanece en el punto de congelación a  $-1.9^{\circ}\text{C}$  formándose nuevos cristales de hielo. Las Polynyas costeras generan, de esta forma, la mayor parte de los hielos que cubren la banquisa emitiendo continuamente hacia la atmósfera un flujo calorífico estimado en el orden de 300 vatios por metro cuadrado, suficiente para formar una capa de nuevo hielo de 10 cm de espesor.

Cuando se forma el hielo en las Polynyas costeras una gran parte de la sal contenida en las masas heladas pasa al agua superficial. Este proceso se efectúa de forma continua en las frías aguas en las Polynyas costeras aumentando la densidad de sus masas de agua facilitando su rápido hundimiento a los fondos abisales.

En las Polynyas de océano abierto el flujo de calor con las aguas superficiales se produce por conducción y convección. El agua superficial más fría y densa que en las capas inferiores, por su contacto con la atmósfera polar, se hunde y es reemplazada por las

masas inferiores formándose celdas cerradas de convección desde la superficie. En el caso de las Polynyas que se forman en el Mar de Wedell estas celdas alcanzan profundidades de 2500 m, enfriándose 0.8°C.

En su conjunto estos procesos alrededor del continente producen el agua antártica de fondo con salinidad alta, entre 34.4 y 34.8, y fría, alcanzando los -2°C debido a su salinidad y la presión de los fondos abisales donde circula.

Estas masas fluyen inicialmente hacia el Este alrededor del continente disminuyendo su densidad al mezclarse ligeramente con el agua circumpolar intermedia y aunque es un poco menos densa que las aguas profundas formadas en el Ártico constituyen las masas de agua más densas en océano abierto, al no estar encerradas en su salida por la topografía del Atlántico Norte. Las masas de Agua Antártica de Fondo (AABW) tienen obstruido su paso hacia el Norte en el Atlántico austral en la zona del punto triple de Walvis que se extiende desde el sudoeste de África del Sur hacia la cordillera medio atlántica.

En su conjunto estos procesos alrededor del continente, tienen dos efectos de alta importancia sobre el planeta. Por una parte suponen un gran intercambio de calor entre el océano y la atmósfera y tienen una gran importancia en su efecto sobre el clima planetario, por otra las corrientes descendentes asociadas el agua que se hunde en las polinias arrastra hacia los fondos abisales gran cantidad de las contaminadas aguas superficiales contribuyendo a la depuración de las aguas de los océanos, altamente ácidas por la absorción de anhídrido carbónico.

El océano Atlántico, que absorbe el 25% del anhídrido carbónico en la atmósfera, está sufriendo especialmente las consecuencias del cambio climático disminuyendo, al aumentar la acidez de sus aguas superficiales, su capacidad de absorción de anhídrido carbónico de la atmósfera. Esto significa que futuras emisiones de anhídrido carbónico permanecerán más tiempo en la atmósfera facilitando, entre otras acciones, la corrosión de los esqueletos de los corales. Estos

cambios facilitan, además, el que actualmente el sistema de corrientes (Corriente del Golfo) se haya debilitado aproximadamente 1/3 desde 1957 afectando, no sólo a las corrientes superficiales, sino a las corrientes de las frías masas de agua en profundidad

#### **4 · LOS HIELOS ANTÁRTICOS Y LA HISTORIA TÉRMICA DEL PLANETA**

La capa de hielo del Antártico se formó por deposiciones de nieve que, con el paso de los años, fueron generando una capa de kilómetros de espesor en el interior de la Antártica. Durante el proceso de formación y depósito de la nieve quedaron atrapadas burbujas de aire en el hielo que han mantenido, hasta el presente, muestras de los elementos químicos que se encontraban en la atmósfera en cada período del pasado. Estos núcleos de hielo contienen, de esta forma, información sobre el pasado del clima y la composición de la atmósfera en los últimos millones de años.

Consecuentemente la composición química, tanto del agua como de las impurezas atrapadas en el hielo, nos permite conocer la temperatura y composición química de la atmósfera en cada época y reconstruir su contenido de polvo y aerosoles haciendo posible la reconstrucción de la forma en que los volcanes y el sol han podido forzar los cambios en la atmósfera, incluyendo, en estos últimos tiempos, el impacto humano en las emisiones de gases de invernadero.

En estas circunstancias los estudios paleo-climáticos pueden aportar información importante para conocer el pasado de la composición de la atmósfera y registrar la evolución de las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el pasado. Durante el máximo de la última glaciación, hace 21000 años, la capa de hielo era aproximadamente dos veces la actual. La deglaciación que se forzó, probablemente por cambios en la órbita de la Tierra y variaciones en la acumulación de gases de invernadero, supuso un aumento del nivel del mar estimado en 10 mm/año, incluyendo grandes variaciones en dos episodios singulares, hace 19.000 años y 14.500 años, en que los picos excedieron 50 mm/año.

Cada uno de estos picos añadió el equivalente a 3 veces la capa de hielo de Groenlandia en un periodo de 1 a 3 siglos. Los flujos de deshielo de estos sucesos supusieron importantes cambios en las corrientes marinas y en el flujo de los intercambios de calor. En el suceso de hace 19.000 años se debió producir un enfriamiento en el hemisferio norte y en el de 14.500 años en el hemisferio sur considerándose que, una parte importante de estos flujos estuvo, probablemente relacionada con la generación de agua profunda en el Mar de Weddell y Groenlandia que afectaron en su posición a las corrientes marinas.

Las perforaciones efectuadas en la capa de hielos antárticos muestran, en todas las estaciones, que la misma historia térmica se repite en las diferentes áreas, confirmando que las edades del hielo se han sucedido con una secuencia de 100.000 años, presentando cambios de temperatura bruscos tanto en Groenlandia como en la Antártica, que pueden deberse a rápidas reorganizaciones de las corrientes marinas entre el Ártico y el Antártico.

En el proyecto EPICA (European Project for Ice Coring in Antarctica), analizando la composición química de las burbujas en una perforación de 3.000 metros en el domo C en la antártica se muestra la aparición, con gran detalle, de fluctuaciones en la composición de los gases de invernadero.

Los cambios de temperatura registrados en estas perforaciones, entre el último máximo glacial y el periodo interglacial presente, es de 9° en el domo C, correspondiendo a los últimos 1.000 años 1.5°, lo que sugiere que la actividad industrial puede haber ocasionado un importante cambio en el comportamiento del clima de origen antropogénico. Estos registros muestran que durante los últimos 650.000 años la concentración de anhídrido carbónico nunca han superado las 290 partes por millón alcanzándose, actualmente, las 375 partes por millón

Para contestar a las posibles causas de estos cambios naturales del clima en el planeta debemos recordar que se considera que la secuencia, en el pasado, de las edades de hielo se debe a cambios en

la órbita de Tierra alrededor del Sol, que hace variar la incidencia de la radiación solar sobre el suelo en las diferentes estaciones y latitudes. Debe añadirse, además, que las variaciones en el Albedo y en los gases de invernadero influyen en los cambios en el clima, haciendo que la causa de estas variaciones no sea sólo debida a las variaciones orbitales.

Lo anterior hace que entre los programas futuros de perforaciones en los hielos antárticos se busque el obtener registros de hielo de hasta 1,5 M años para cubrir, sobrepasando, los últimos periodos interglaciares tratando de alcanzar y completar, tanto en Groenlandia como en la Antártica, el último periodo interglacial hasta cubrir los últimos 40.000 años incluyendo con especial detalle, en glaciares, los últimos 2.000 años para registrar e identificar la velocidad y naturaleza de los cambios climáticos recientes.

Las predicciones indican que el actual proceso de calentamiento de la Península Antártica seguirá en el futuro, existiendo una gran incertidumbre respecto a la evolución térmica de la Antártica del Este, que sigue un proceso de enfriamiento que para su comprensión exige un mayor número de datos y un mejor conocimiento de los mecanismos físicos y químicos que interaccionan y que sólo pueden obtenerse en la Antártica.

La mayor parte de los climatólogos consideran que el aumento de los gases de invernadero conducirá a un mayor calentamiento de la atmósfera sin precedentes en épocas anteriores. Los modelos actuales prevén que si se duplica la cantidad de anhídrido carbónico la meseta antártica se calentaría 2.5° C y que si se cuadruplica la subida alcanzaría los 6° C, comparable en magnitud al cambio desde la edad de hielo, pero producida en un periodo 25 veces más corto que el experimentado en los cambios naturales.

El balance de la variación de las masas de hielo puede hacerse actualmente midiendo los cambios en la altura o espesor de la capa de hielo. En el caso de Groenlandia medidas altimétricas indican una creciente pérdida de masa de hielo aumentando hacia las costas con un equivalente de subida del nivel del mar de 0.1 mm/año

## CONCLUSIÓN. UNA VISIÓN AL FUTURO

La explotación de los océanos no es una novedad. La pesca, el transporte marítimo y aún la extracción del mar de algunos productos minerales tienen orígenes muy antiguos siendo, a lo largo de la historia, actividades llevadas a cabo en tiempos en que se desconocía en toda su amplitud y variedad las riquezas del mar.

No hace mucho tiempo se pensaba que el océano, en su inmensidad, poseía recursos ilimitados. Esta idea en el momento actual debería considerarse insostenible. En todas partes las pesquerías se resienten de sobre pesca y defecto en la administración de estos recursos. Los desarrollos de las técnicas espaciales de observación del océano y de los sensores acústicos facilitan y permiten la localización masiva de los recursos y la tecnología extractiva han permitido la pesca masiva.

Como consecuencia de la dramática evolución de determinadas especies la humanidad ha vivido recientemente un nuevo cambio de cazador a agricultor, con el desarrollo de verdaderas granjas de peces y el nacimiento, con ello, de la acuicultura. Hoy en día esta técnica, que constituye actualmente una alternativa real a la oferta de productos pesqueros, debe hacer frente con eficacia a los problemas que representan los requisitos medioambientales.

Como una conclusión final podemos considerar que el estudio del papel del hombre respecto a la naturaleza tiene muy diversas formas, incluyendo el considerar al hombre como una especie más componente del sistema, donde deja sentir su influencia. Los cambios que introduce la actividad antropogénica favorecen el incremento de las especies oportunistas de crecimiento rápido capaces de ajustarse a las irregularidades provocadas por la actividad humana y representan una disminución en la biodiversidad en relación al primitivo ecosistema representando. En otras palabras, un cambio en sentido opuesto a la solución evolutiva. La oposición íntima entre explotación y sucesión biológica constituye la clave de todos los problemas relacionados con la conservación de la naturaleza. El océano Antártico y los procesos que en él se realizan resultan fundamentales para conocer la

respuesta del planeta a los procesos que pudieran estar relacionados con la existencia de un posible cambio climático de origen antropogénico.

Las corrientes marinas transportan calor desde el Ecuador y los Trópicos hacia las altas latitudes y desde las zonas polares heladas los nutrientes afloran hacia la superficie desde los fondos abisales proporcionando el plancton de la cadena alimenticia, base de las industrias pesqueras. Las corrientes afectan, además, a la navegación y a la difusión en los océanos de los residuos y contaminantes.

La investigación Antártica resulta hoy crucial, además, para el estudio del campo magnético terrestre, la geología, la biología, la oceanografía, la atmósfera, el medio ambiente planetario incluyendo, como ya hemos indicado, los estudios de un posible cambio climático y el papel que en él representan los procesos que se desarrollan en el océano austral.

Sin la toma de datos en las zonas polares serían de difícil comprensión los fenómenos asociados a la circulación en la atmósfera y océanos y prácticamente imposibles de entender el comportamiento de las radiaciones cósmicas que penetran en esta región debido a las características singulares de su atmósfera y del campo magnético terrestre en las proximidades del Polo y que hoy se reflejan en un aumento de la radiación ultravioleta que afecta preocupantemente a los entornos polares.

Consideremos, el hecho, de que la gran cantidad de fuel fósil que se quema en el planeta sea una de las posibles causas del aumento de la temperatura del aire, debido a que sus residuos empiecen a permanecer en la atmósfera en una densidad tal, que lentamente se van aproximando a la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> por los océanos.

Se conoce muy poco de estas interacciones debido, en gran parte, a la dificultad de observar el océano considerado en sus dimensiones globales y que, a diferencia de lo que ocurre en la atmósfera, exista en el océano un sistema de observación planetario, exceptuando las observaciones superficiales de los satélites que proporcionan los úni-

cos datos, actualmente disponibles, en tiempo quasi real sobre el océano en su conjunto.

En estas condiciones hoy en día el estudio, desde la ciencia, de los procesos físicos y biológicos que se desarrollan en el océano antártico resulta fundamentales para conocer la respuesta del sistema oceánico a procesos que pudieran estar relacionados con acciones de origen antropogénico y su efecto sobre el delicado equilibrio del singular sistema antártico.

Han pasado cuatro mil quinientos millones de años desde que en una remota galaxia, en uno de los brazos exteriores de la Vía Láctea, la contracción de la masa de una nebulosa iniciara la formación de nuestro planeta y la emisión gaseosa de sus minerales hidratados permitiera la formación de una primitiva atmósfera, entre gigantescas erupciones de gas volcánico. Tras su lento enfriamiento, los grandes diluvios de su condensación generaron un inmenso océano planetario en cuyos márgenes y marismas la vida encontró su oportunidad.

Seiscientos millones de años han transcurrido desde que la vida animal abandonó el océano para iniciar la colonización de los primitivos continentes, protegida de las mortales radiaciones solares bajo la naciente sombrilla de una capa de ozono.

Apenas un millón de años ha transcurrido desde que los primeros homínidos contemplaran temerosos, desde las praderas de África, el brillo de las estrellas tratando de entender el universo que les rodeaba en los primeros brotes de inteligencia humana.

Veinte mil años han transcurrido desde que, en sucesivas oleadas, los hielos polares de la última glaciación cubrieran gran parte de nuestro hábitat actual

Apenas un siglo ha pasado desde el comienzo de la sociedad industrial y cuarenta años han transcurrido desde que el Spútnik I anunciara desde el espacio el comienzo de una época.

Hoy, desde el exterior inmediato a nuestro hábitat terrestre, las constelaciones de satélites artificiales observan nuestro océano entregando los datos que nos permiten contemplar, con razonada preocupación, el futuro desarrollo del delicado equilibrio cósmico que rodea la vida en nuestro planeta. Estos estudios se complementan, con las observaciones en las tierras y océanos polares en un deseo de contestar, satisfactoria y convincentemente, a la pregunta de porqué se participa en las campañas antárticas.