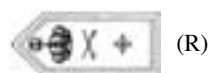


VEINTE AÑOS DE CAMPAÑAS ANTÁRTICAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Manuel CATALÁN PÉREZ-URQUIOLA
Secretario técnico del Comité Polar Español



Introducción



AN pasado ya 20 años desde que la Armada iniciara su participación en las Campañas Antárticas y recuerdo la pregunta de difícil contestación que muchos de nuestros compañeros entonces nos hacían ¿Por qué se va a la Antártida? Hoy en día es fácil contestar mirando con atención a los negros nubarrones que, quizá a corto plazo, se desarrollen en el horizonte de la humanidad. La sociedad industrial y sus emisiones de gases hacen pensar que determinados parámetros que rigen nuestra vida están variando en una dirección preocupante. Se considera que la temperatura tiene una tendencia ascendente, que el nivel del mar sube, que la radiación ultravioleta aumenta en las zonas polares, y se nos indica, como solución, que debemos reducir las emisiones de anhídrido carbónico a la atmósfera como causa real de nuestros males.

La receta para muchos es sencilla: disminuyamos los coches, disminuyamos o eliminemos las centrales eléctricas y vivamos con los suministros energéticos que, de forma amable, natural y renovable, la naturaleza pone en tiempo real a nuestra disposición (200 vatios por metro cuadrado) en forma de viento, radiación solar o biocombustibles. Todo eso está muy bien y es razonable si se garantiza que siempre el viento soplará en la intensidad y dirección adecuadas, y que la radiación solar nos llegará día y noche desde un hermoso cielo siempre despejado. Estas energías deben evidentemente potenciarse, pero desgraciadamente no excluyen la necesidad de una energía eléc-

TEMAS GENERALES

trica básica de otro tipo que, en la medida de lo posible, no contamine con gases de invernadero nuestra dañada atmósfera.

Esto hace que el problema no sea tan sencillo. Las naciones desarrolladas tienen un nivel básico elevado de consumo energético, 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 necesidad previa el conocimiento exacto de lo que está ocurriendo en nuestro planeta, para actuar de forma razonable y eficaz, lejos de situaciones deseables pero simplistas.

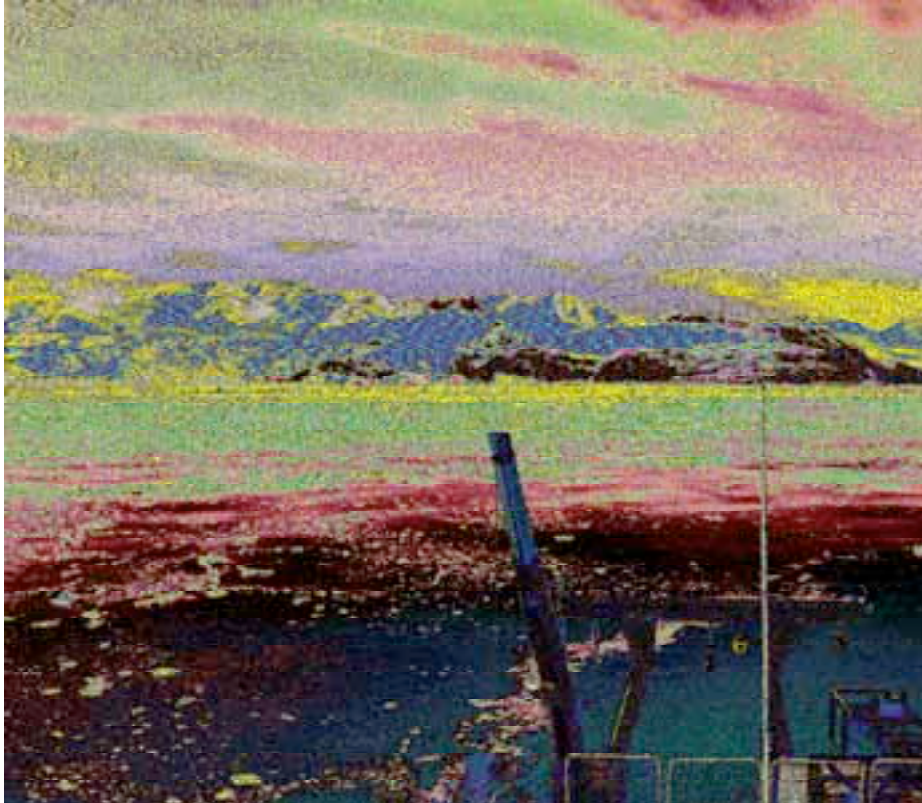
Para ello deberíamos contestar, desde el rigor de la ciencia, algunas sencillas preguntas: ¿es real que se esté produciendo un cambio climático de origen antropogénico? ¿Cuál es el papel de los océanos, y en especial del Antártico, sobre las oscilaciones que se observan en el clima? ¿Cuál es el efecto de la absorción del CO₂ en la atmósfera y 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. Por ello España, con el apoyo de sus medios civiles y militares, fue hace ya muchos años a la Antártida, y las naciones colaboran hoy, en el 4.º 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 quizá nuevamente a nuestra forma de vida.

Los procesos naturales del ciclo de la vida

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 reemitida 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 por la Tierra 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



BIO *Hesperides* en caleta Cierva.

sus masas de agua, impidiendo, igualmente, el desarrollo de la vida tal y como nosotros lo conocemos.

La fotosíntesis es el fenómeno por el que la clorofila de las plantas, bajo la acción del sol, absorbe su radiación para generar los carbohidratos que necesitan para mantener sus requerimientos energéticos, a partir del anhídrido carbónico y el agua. La energía de la fotosíntesis queda almacenada en las plantas, desprendiéndose un átomo de oxígeno por cada átomo de carbono que se incorpora a la estructura vegetal.

Los organismos vivos combinan los carbohidratos con oxígeno en sus células para generar su energía, devolviendo a la atmósfera anhídrido carbónico y agua en un proceso que se llama respiración.

Los carbohidratos sólo pueden metabolizarse en las plantas, por lo que los animales sólo pueden generar la energía que necesitan para su vida a partir de adquirirla alimentándose de las plantas o de los animales herbívoros.

TEMAS GENERALES

Debe considerarse que la fotosíntesis y la respiración son dos reacciones recíprocas que permiten el intercambio de anhídrido carbónico y oxígeno entre la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre con la biosfera. Si los procesos de fotosíntesis y respiración estuvieran en equilibrio, toda la materia orgánica generada en la fotosíntesis sería reprocesada en la respiración, y el anhídrido carbónico y el oxígeno presentes en la atmósfera no variarían. En las anteriores condiciones podemos considerar que existen tres fases en el ciclo del carbón. La primera sería la asimilación por las plantas del anhídrido carbónico y su devolución a la atmósfera por la respiración y residuos animales. Una segunda fase consideraría el gran ciclo geológico, en un equilibrio ligeramente descompensado, donde el carbono inicialmente generado se transforma en rocas y sedimentos. Finalmente podemos considerar la fase biológica-geológica-económica, fuertemente desequilibrada bajo la influencia de la tecnología, y donde el carbono de la atmósfera, reciclado por las plantas y animales, generó las reservas de carbón y petróleo que, en un corto periodo de tiempo, vuelve hoy masivamente a la atmósfera tras su consumo energético y queda, sólo parcialmente, compensado por la capacidad del océano de absorber el anhídrido carbónico resultante.

Hoy en día el agua y el carbono aparecen como los elementos principales alrededor de los que la vida surge y se desarrolla. El agua compone el 50 por 100 de la materia de los árboles, el 66 por 100 de los vertebrados y hasta el 99 por 100 de algunos peces. Sin embargo, y aunque una disolución salina pura puede actuar como un veneno para la mayor parte de los animales y las plantas, una combinación de varias sales, en una composición próxima a la del agua marina y con la composición adecuada a cada organismo, decrece estos efectos.

La composición del suero de los animales, especialmente en los vertebrados, se asemeja mucho a la del agua marina, sugiriendo que los animales al instalarse en tierra trasladaron, en la composición interna de sus organismos, parte del agua marina a la que estaban inicialmente adaptados.

Las diferencias que se observan en estas concentraciones, con la composición actual del agua marina, podrían explicarse por dos hechos:

- Desde el Cámbrico, en que tuvo lugar la extensión de la vida marina hacia la tierra, se ha añadido al océano una considerable cantidad de sales que, como las de magnesio, se han incrementado considerablemente.
- Durante el largo periodo de adaptación de los animales a la respiración con pulmones ha cambiado la composición de su suero. La diferencia entre el suero sanguíneo y el agua marina es una de las causas que restringe las posibilidades de desarrollo de los seres vivos a los hábitats donde se encuentran. Sólo unas pocas especies de peces pueden vivir y desarrollarse en agua de mar y agua dulce.

La energía fósil. Un almacén de la energía del pasado

A la vista de lo anterior podemos considerar que 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 barreras impermeables favorables, como las trampas de antisinclinales, fallas y domos de sal.

Al igual que los hidrocarburos, las reservas de carbón se han formado por la acumulación de depósitos vegetales, donde se dieron las circunstancias de que su rápido enterramiento bajo el agua de las marismas protegió a sus sedimentos de la exposición al oxígeno y descomposición bacteriana. Bajo esta acción, los sedimentos se transformaron lentamente en una masa orgánica con una riqueza aproximada del 50 por 100 de carbón.

A lo largo del tiempo la masa orgánica se fue enterrando, comprimiendo y calentando, aumentando su contenido de carbón y transformándose en lignito con un contenido del 70 por 100 de carbón. Nuevos hundimientos transformaron el lignito en un carbón bituminoso que, tras nuevos hundimientos, se fue transformando en antracita, con una riqueza en carbón del 90 por 100.

Comparado con el petróleo y el gas natural, debe considerarse que la combustión del carbón entrega a la atmósfera una mayor cantidad de compuestos sulfurosos, que aumentan el riesgo de lluvias ácidas, dejando las cenizas de su combustión un importante porcentaje del carbón quemado, con impurezas metálicas.

Debe tenerse en cuenta, además, que las reservas de carbón, debidamente 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 su uso. El crudo sintético puede también extraerse en el futuro, hasta alcanzar niveles de reserva potencialmente considerables, a partir de la destilación por calentamiento de finos sedimentos impregnados de hidrocarburos solidificados, procedentes de depósitos que han perdido por evaporación parte de los hidrocarburos más volátiles.

Nuestras necesidades energéticas se centraron en el pasado en el uso de la madera y saltos de agua, pasando posteriormente al carbón, petróleo, uranio, y en los últimos años a la búsqueda de energías procedentes del calor subterráneo o, como energías alternativas complementarias, las que directa o indirectamente se pueden obtener en tiempo real en paneles solares o rotores impulsados por el viento, tratando de encontrar las claves de un desarrollo sostenible.

TEMAS GENERALES

Actualmente se está empezando a considerar que puede generarse energía renovable con el tratamiento de residuos orgánicos o cosechas que conviertan la materia orgánica de su biomasa en gases o líquidos, como el metano o el alcohol.

En estas condiciones podemos considerar que las naciones desarrolladas dependen fundamentalmente del petróleo, el gas natural y la energía de origen nuclear, complementadas por la eólica y solar, mientras en las zonas subdesarrolladas la energía procede, fundamentalmente, de la madera, lo que facilita la deforestación y la conversión del territorio en zonas subdesérticas.

Respecto a la evolución del consumo energético, hay varias expectativas preocupantes en el sentido de que inducen a pensar que la demanda de energía aumentará en los próximos años. Parece lógico pensar que la 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



Las Palmas.

reordenará la producción con una política de reducción del consumo y mejor utilización de los recursos energéticos. Y que en consideración el 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 distintas aplicaciones.

El océano y el clima

El océano, y en especial los mares australes, juegan un papel fundamental en el sistema del clima global porque almacenan el calor y agua dulce que las corrientes trasladan alrededor del planeta, conectando las cuencas globales.

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, por 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.

En este sentido debemos considerar que uno de los procesos fundamentales que se desarrolla 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 alejándolo 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, formándose nuevos cristales de hielo.

Las llamadas Polynyas costeras generan, de esta forma, la mayor parte de los hielos que cubren la banquisa, emitiendo continuamente hacia la atmósfera un flujo calorífico suficiente para formar una capa de nuevo hielo.

Cuando se forma el hielo en las Polynyas costeras, una gran parte de la sal y contaminantes 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 las masas de agua superficial, facilitando su rápido hundimiento a los fondos abisales y la formación del agua antártica de fondo que recorre todos los fondos de los océanos planetarios.

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

TEMAS GENERALES

en el mar de Weddell, estas celdas alcanzan profundidades de 2.500 m, enfriándose en 0.8°C.

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 al agua que se hunde en las Polynyas 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 por 100 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, 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 también a las corrientes de las frías masas de agua en profundidad.

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 Antártida. 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 periodo 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 conocer 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. Durante el máximo de la última glaciación, hace 21.000 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 varia-

ciones 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 y 14.500 años, en que los picos excedieron 50 mm/año.

Cada uno de estos picos añadió el equivalente a tres veces la capa de hielo de Groenlandia en un periodo de uno a tres 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 hace 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 Antártida 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 Antártida, 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 ha 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 la Tierra alrededor del Sol, que hacen 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 obtener registros de hielo de hasta 1,5 millones de años para cubrir, sobrepasando, los últimos periodos interglaciares. Se trataría de alcanzar y completar, tanto en Groenlandia como en la Antártida, el último

TEMAS GENERALES

periodo interglaciar 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 Antártida 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 Antártida.

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 mirada al futuro

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 vaya aproximando a la capacidad de absorción de CO₂ por los océanos.

Se conoce muy poco sobre la capacidad de absorción del anhídrido carbónico por el océano, debido, en gran parte, a la dificultad de observar el océano en tiempo real y en toda su extensión, pues, a diferencia de lo que ocurre en la atmósfera, no existe en el océano un sistema de observación que lo cubra en su totalidad, si se exceptúan las observaciones superficiales de los satélites, que proporcionan los únicos datos, actualmente disponibles, en tiempo cuasi real sobre el océano conjunto.

En estas condiciones, hoy en día el estudio de los procesos físicos y biológicos que se desarrollan en el océano antártico resulta fundamental 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.

Podemos considerar que el estudio del papel del hombre respecto a la natu-

raleza 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 rápido crecimiento 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.

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 nuestros hábitats actuales.

TEMAS GENERALES

Apenas un siglo ha pasado desde el comienzo de la sociedad industrial, y cuarenta años han transcurrido desde que el *Sputnick 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 que hace 20 años nos hacían nuestros compañeros mientras nos alejábamos de España para participar en aquellas primeras campañas antárticas.

