

Planes operativos a corto plazo de Climos

¿Qué actividades desarrollará Climos durante los próximos 12 a 24 meses?

Mayo de 2008

Antecedentes

Climos piensa llevar a cabo un programa de demostración de la fertilización de océanos con hierro (OIF, por sus siglas en inglés). Comprendemos y apreciamos el interés que poseen en estas actividades científicos, reguladores y particulares. Numerosos aspectos de nuestra planificación dependen de los avances que se produzcan en el contexto normativo marino, la financiación y diversos factores logísticos y temporales (programación). En consecuencia, la siguiente descripción tiene carácter ilustrativo y los detalles pueden cambiar con el tiempo. No obstante, publicamos este documento con el objeto de brindar información y dar a conocer los antecedentes de los distintos aspectos que entran en juego para llevar a cabo la demostración. Agradeceremos todo comentario o sugerencia sobre este documento o su contenido, ya que nuestros avances hasta ahora son el fruto de las innumerables sugerencias e ideas que recibimos de colegas y otras personas. Por otra parte, cabe aclarar que, si bien describimos estos elementos en serie, muchos de ellos se implementarán en paralelo por razones prácticas.

En otros documentos presentados a la Secretaría General del Convenio de Londres/Protocolo de Londres, destacamos que los últimos 15 años representan un período de importante investigación científica básica en que se utilizó la OIF como herramienta para estudiar el papel que desempeña el hierro en la productividad de los océanos y algunos aspectos del desarrollo biológico de proliferaciones e interacciones con algunas partes de la cadena alimentaria. Estos valiosos experimentos proporcionaron un caudal de información nueva sobre la productividad de los océanos; sin embargo, no se diseñaron para responder a los interrogantes acerca de la eficacia de la exportación de carbono, para explicar el intercambio entre el aire y el mar de CO₂ y otros gases biogénicos, ni para abordar varias inquietudes acerca del impacto de la OIF a mayor escala. Como los experimentos fueron muy exitosos para estimular las proliferaciones y como la fertilización con hierro natural (p. ej., la meseta de Kerguelen) y algunos de los experimentos de mayor envergadura (p. ej., EIFEX) sugieren que las proliferaciones estimuladas con hierro podrían capturar cantidades sustanciales de carbono, resta determinar si las proliferaciones estimuladas con la OIF de mayor envergadura pueden funcionar como mecanismo de mitigación del CO₂.

La posible capacidad de la OIF para capturar carbono y el impacto de esta técnica a mayor escala constituyen dos interrogantes diferentes que la investigación procura dilucidar y que guardan una íntima relación con las posibles oportunidades comerciales para mitigar el carbono. Sabemos que estos interrogantes no pueden contestarse con un único experimento de gran magnitud. En cambio, consideramos a este experimento como parte de una nueva fase de investigación centrada en la eficacia y el impacto de experimentos de magnitud moderada (~200 x 200 km). El programa de demostración que planificamos hará hincapié en la investigación relativa a la exportación y la captura de carbono, así como al impacto ambiental. Sólo si se dispone de esta

información, los científicos, reguladores y el sector privado podrán comprender si la implementación a gran escala de la OIF para mitigar el CO2 arroja resultados satisfactorios y la naturaleza de sus efectos. Si no puede demostrarse a esta escala moderada que la OIF captura carbono y lo hace con efectos mínimos o aceptables en el ecosistema, no se realizará a una mayor escala.

Permisos

Climos ha asumido el compromiso de obtener un permiso de un país signatario del Convenio de la Organización Marítima Internacional (OMI) sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias (Convenio de Londres, en adelante LC, por sus siglas en inglés) antes de llevar a cabo el experimento de demostración. Si no podemos obtenerlo, no avanzaremos. Por este motivo, en este período nos hemos dedicado a realizar las actividades de difusión necesarias para comunicar los fundamentos sólidos que, en nuestra opinión, justifican la ejecución de demostraciones de base científica y financiación privada. Entre las actividades realizadas cabe mencionar las siguientes:

- La formación de un comité científico asesor (SAB, por sus siglas en inglés).
- Propuesta de elementos de un “Código de conducta” del año pasado, en la que se recomiendan muchos de los requisitos a los que hemos de ceñir nuestras propias acciones.
- Presentación a los delegados del Convenio de Londres realizada en noviembre de 2007.
- La elaboración de un primer borrador de metodología marco para cuantificar la exportación y permanencia del carbono. Se seguirá trabajando en este borrador en el curso del año próximo.
- El anuncio de la contratación de Tetra Tech para elaborar un modelo conceptual detallado y el informe ambiental maestro de la OIF, que servirán de base de una evaluación completa del impacto ambiental.
- Preparación de materiales detallados para la reunión intersesional del Grupo Científico del Convenio de Londres realizada en Guayaquil (que abarcaron las respuestas a la reseña de Canadá y a la crítica de la OIF realizada por Greenpeace y otras notas relativas a la condición jurídica de la OIF en virtud del LC, además de los fundamentos para considerar la comercialización).

Una vez que Tetra Tech finalice el modelo conceptual y el informe ambiental maestro, pensamos explorar la posibilidad de obtener un permiso para un crucero de demostración en un país signatario del LC favorable, que resulte práctico desde un punto de vista operativo en función del lugar del proyecto que escojamos.

Selección del sitio

El paradigma inicial de fertilización con hierro que hemos seleccionado es la fertilización de una zona con alta concentración de nutrientes y baja concentración de clorofila (HNLC, por sus siglas en inglés). Las zonas HNLC fueron el eje principal de once de los últimos doce experimentos de investigación en la OIF. Si bien se

han analizado y debatido otros paradigmas (como por ejemplo, la fertilización para estimular la fijación del nitrógeno) y si bien puede haber fundamentos válidos para explorar estos paradigmas, nuestra primera demostración consistirá en una OIF en una zona HNLC.

Esta selección reduce el abanico de lugares posibles en los que puede llevarse a cabo el proyecto. El Pacífico ecuatorial es una región HNLC; no obstante, hemos decidido no considerarla para el primer experimento puesto que existen posibilidades de generar N₂O y los modelos sugieren que un cierto grado de agotamiento de nutrientes podría ser problemático en esta región. Por estos motivos, nos hemos centrado en el Pacífico norte o el Océano Antártico, ya que en las dos regiones se han llevado a cabo experimentos de OIF con resultados satisfactorios. También limitaremos nuestro abanico de opciones a los sitios que se encuentran al norte de la latitud indicada por el Tratado de la Antártida de manera que nuestro trabajo no afecte al continente blanco. La primera y principal limitación a la hora de elegir entre el Pacífico norte y el Océano Antártico es la estacionalidad. El fitoplancton necesita niveles adecuados de luz solar para crecer, además de niveles adecuados de nutrientes, y estos factores limitan naturalmente toda simulación planificada del crecimiento a la estación de verano.

La segunda limitación a la hora de elegir el sitio es la distancia desde la costa. En general, la OIF no es eficaz cerca de la tierra porque el hierro se suministra a través de la escorrentía fluvial o la resuspensión de sedimentos de la plataforma continental. Por otra parte, para que se capture carbono con el nivel necesario de permanencia, el agua debe ser lo suficientemente profunda como para que se evite todo ulterior contacto del carbono exportado con la atmósfera durante al menos 100 años. Dado que queremos ser prudentes respecto de la permanencia, sólo consideraremos sitios en aguas profundas (al menos 2000 metros de profundidad y con más probabilidad ~4000 metros de profundidad o más) y una distancia de al menos 500 kilómetros de la masa terrestre más próxima (y con más probabilidad una distancia mínima de 1000 a 1500 kilómetros). Estos dos parámetros son elementos del Código de conducta que propusimos.

La tercera limitación a la hora de elegir el sitio es la proximidad a un puerto operativo que pueda proporcionar buques de categoría operativa para realizar la distribución del sulfato de hierro según nuestras especificaciones. De los países que suscribieron el Convenio de Londres, son pocos los que se encuentran cerca de posibles sitios operativos del Océano Antártico o del Pacífico norte, y que cuentan con puertos operativos de la magnitud necesaria para mantener una flota de buques disponibles para su contratación y que reúnan las condiciones necesarias para la labor a realizar. A la fecha de redacción de este documento, Climos no ha mantenido ninguna conversación formal con ninguna nación a fin de obtener los permisos pertinentes para llevar a cabo un proyecto de OIF en virtud del Convenio de Londres.

Organización y anuncio del equipo científico

Climos seleccionará y contratará a un científico principal (investigador principal), quien dirigirá y coordinará el crucero en nuestro nombre. Nos inclinamos por un investigador principal con experiencia anterior en la realización de experimentos de OIF. Estamos analizando el puesto con un pequeño grupo de científicos. Durante el último trimestre de 2008 Climos realizará un seminario para miembros de la comunidad internacional que conozcan la ciencia de la OIF, a fin de analizar e intercambiar ideas sobre las mediciones y

los modelos necesarios para cuantificar la exportación y captura de carbono. El Pacific Marine Environment Laboratory de la U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, por sus siglas en inglés) ha ofrecido sus instalaciones para llevar a cabo el seminario. En un segundo seminario se hará hincapié en las mediciones y los modelos necesarios para cuantificar los efectos de la OIF. Anticipamos que se realizará a fines de 2008 o a principios del primer trimestre de 2009. Hemos conversado sobre la posibilidad de patrocinar este evento junto con un programa internacional de cambio global que se especializa en ecosistemas marinos interdisciplinarios.

Con la ayuda de la información recopilada en el seminario y las recomendaciones formuladas respecto de la planificación, el investigador principal propondrá un equipo científico para efectuar el crucero de demostración en nuestro nombre. Este equipo se seleccionará en consideración de sus antecedentes y reconocimiento científicos dentro de su área de especialización de investigación. Dada la naturaleza de la investigación oceanográfica activa, será inevitable que algunos científicos que deseen participar en el crucero tengan conflictos que les impida su participación.

Diseño del proyecto de demostración

Metodología:

Climos ha comenzado a redactar una metodología de la OIF. Asimismo, cabe señalar que la metodología se elaborará en colaboración con el equipo científico en función de las mediciones y los modelos recomendados en el seminario. La metodología representa el método para cuantificar el beneficio que reporta el proyecto de OIF mediante la captura de carbono. Se trata de un documento técnico formal que incluirá, entre otros elementos, una descripción y cálculos detallados de lo siguiente:

- La distribución del hierro,
- Los diversos métodos de instrumentación que se utilizarán,
- La definición de los límites del proyecto,
- El método para medir las condiciones “basales” fuera de la zona del proyecto,
- Los métodos para medir la biomasa resultante dentro de los límites del proyecto,
- Los métodos para medir la exportación de carbono y la profundidad o las profundidades a las que se medirá la referida exportación,
- El método para integrar las distintas mediciones y las técnicas estadísticas empleadas a fin de calcular la captura general de carbono.
- El método para medir los gases biogénicos y los cambios radiativos (forzamiento radiativo) generados a consecuencia del proyecto,
- El uso de técnicas de modelado combinadas con parámetros de medición directa para determinar la reducción del CO₂ atmosférico a medida que la superficie del océano se reequilibra con el paso del tiempo y el efecto sobre la posterior productividad de los nutrientes, tanto dentro de la zona del proyecto como en los sitios aguas abajo.

Si bien esta metodología seguirá el modelo de los documentos exigidos para los proyectos de carbono en virtud del mecanismo para un desarrollo limpio (CDM, por sus siglas en inglés) del Protocolo de Kyoto, el experimento no puede calificar como proyecto CDM del Protocolo de Kyoto ni pensamos proponerlo como tal. Utilizamos la fase de elaboración de la metodología para aportar rigor a la descripción del experimento para varias audiencias. La metodología es ante todo un documento científico y, por ende, es imprescindible elaborarla en colaboración con los científicos que se especializan en los diversos campos en cuestión. No obstante, es también un documento que utilizarán los verificadores que conocen los mercados del carbono para determinar la cantidad y permanencia del carbono capturado.

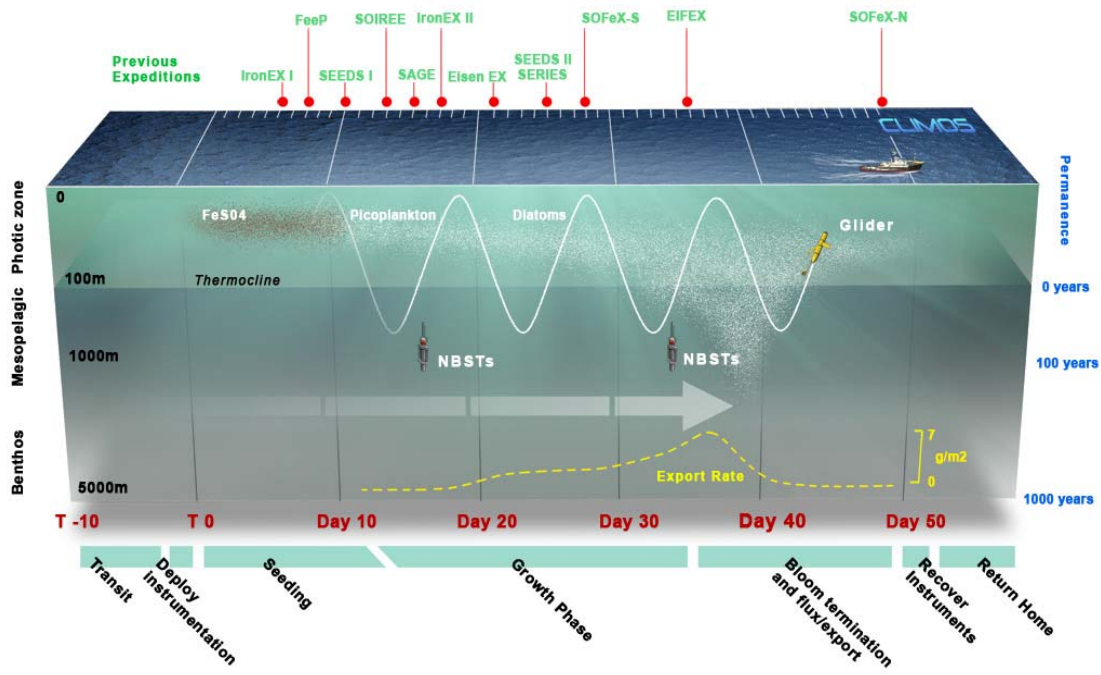
Una vez finalizada la metodología, Climos la pondrá a disposición del público en general para su revisión por parte de la comunidad científica internacional.

Escala:

Los resultados de los experimentos de OIF anteriores ponen en clara evidencia la necesidad de realizar una serie de demostraciones de segunda generación a gran escala con el objeto de determinar si la OIF puede ser una técnica eficaz de mitigación del carbono ((Boyd, Jickells *y col.*, 2007), Grupo especial de la COI sobre la OIF 2008, (Buessler, Doney *y col.*, 2008)). Las escalas rodiales que se describen en estos documentos varían de 100 x 100 km a 200 x 200 km, lo que supone que alcanzan aproximadamente la dimensión de los remolinos a mesoescala. En experimentos recientes se procuró fertilizar zonas dentro de los remolinos para contener el hierro y el rodal fertilizado dentro del remolino y disminuir al mínimo la dilución. La realización de experimentos de OIF en esta escala aumentará en gran medida la probabilidad de que las mediciones en el rodal se asocien con la mínima dilución con material fuera del rodal e incrementará la precisión estadística de las mediciones de captura de carbono.

Duración:

Entre los primeros proyectos de OIF hubo cruceros que tuvieron la duración necesaria para observar el desarrollo de las proliferaciones de fitoplancton. No obstante, la duración de estos cruceros, en general, fue demasiado corta como para captar la fase de exportación o la disipación de las proliferaciones. Anticipamos que el equipo científico deseará realizar mediciones durante unos 70 días (incluidos los tramos de tránsito) desde uno de los buques de investigación oceanográfica de mayor capacidad y máxima resistencia.



English	Spanish
Benthos	Bentos
Mesopelagic	Zona mesopelágica
Photic Zone	Zona fótica
Previous Expeditions	Expediciones anteriores
SEEDS II SERIES	SEEDS SERIE II
Permanence	Permanencia
Years	Años
Picoplankton	Picoplancton
Diatoms	Diatomeas
Glider	Deslizador
Thermocline	Termoclina
NBSTs	NBST
Export Rate	Tasa de exportación
Day	Día
Transit	Tránsito
Deploy Instrumentation	Instalación de los instrumentos
Seedling	Sembrado
Growth Phase	Fase de crecimiento
Bloom termination and flux/export	Terminación de proliferaciones y flujo/exportación
Recover instruments	Recuperación de instrumentos
Return Home	Regreso

Planificación y logística en preparación de un crucero de demostración

La plataforma de medición de investigación:

En el proyecto de demostración de Climos se contratará a un equipo científico independiente para que realice mediciones desde un buque conocido de categoría de investigación que ya esté equipado con los recursos básicos necesarios para una operación de investigación oceanográfica de carácter sofisticado. Cuando se definan con mayor precisión el lugar de ejecución del proyecto y el marco temporal, trabajaremos junto al investigador principal con el fin de identificar los buques de investigación que podrían ser adecuados para el proyecto en función del lugar, la duración, los instrumentos a instalar, el número de integrantes del equipo científico, la estacionalidad y el estado probable del mar.

Identificación de un proveedor de sulfato de hierro:

Climos contratará a un proveedor de sulfato de hierro (muy probablemente en la forma de monohidrato, es decir, $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), que pueda suministrar un análisis confiable de pureza del material. En términos generales, pensamos utilizar un compuesto de sulfato de hierro que se fabrica para actividades de fertilización. Normalmente, el sulfato de hierro se emplea en diversas aplicaciones terrestres como nutriente traza en fertilizantes de plantas y suplementos nutricionales para animales. Si bien el sulfato de hierro suele derivar originalmente de un coproducto de la fabricación de acero o de dióxido de titanio, los fabricantes comerciales lo someten a procesos adicionales según las especificaciones correspondientes al uso previsto. Climos obtendrá análisis y los proporcionará a las partes interesadas para determinar los niveles de cualquier otro material traza que pudiera estar presente en la solución que se empleará.

Se ofrece por separado un informe completo de los materiales.

En la tabla 1 se indica el análisis de impurezas de un proveedor típico de $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, las concentraciones de las impurezas que se generarían en una solución de sulfato de hierro de 5 nmol y las concentraciones normales de estos metales en el agua de mar.

Elemento	Concentración máxima en $\text{Fe}(\text{SO}_4)$ (ppm)	Concentración en una solución de $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ de 5 nmol (mg/l)	Concentración en el agua de mar (mg/l)
As	1	0,000001	2,60
Cd	2	0,000002	0,11
Cr	20	0,000017	0,20
Cu	17	0,000014	0,90

Pb	17	0,000014	0,03
Mg	9600	0,008156	1290000,00
Mn	2700	0,002294	0,40
Ni	85	0,000072	6,60
Zn	2000	0,001699	5,00

Contratación de los buques de distribución:

Un experimento de la magnitud antes mencionada y analizada por la comunidad científica necesitaría semanas para fertilizar con un solo buque. Este período prolongado de fertilización supondría que un extremo del rodal quedaría en una fase de proliferación y exportación totalmente diferente de la fase del extremo opuesto. Este fenómeno plantearía varias dificultades a la hora de interpretar los resultados. Por este motivo, utilizaremos varios buques para fertilizar el rodal. La cantidad de buques dependerá de la magnitud definitiva del experimento. Debido a que la fertilización es una actividad operativa, Climos asumirá la responsabilidad de contratar los buques que distribuirán el hierro y obtendrá los permisos necesarios para la distribución.

El proyecto

Se mezclará una solución de sulfato de hierro, un quelante (HCl) y agua de mar en un rodal cuidadosamente definido para estimular el crecimiento de proliferaciones naturales de fitoplancton de corta vida.

Antes de introducir el compuesto de sulfato de hierro en el océano, se lo diluirá en una solución que consistirá en agua de mar y una pequeña cantidad de ácido clorhídrico (HCl) que quelará el sulfato de hierro para aumentar su solubilidad y evitará su rápida precipitación fuera del agua de mar. La concentración sumamente débil del HCl será más que compensada por el aumento del pH logrado mediante la absorción de CO₂ por el fitoplancton estimulado a través de la propia proliferación. La concentración objetivo del FeSO₄ en el agua de mar será de unos 4 nmol/kg en el área del rodal. Esta cantidad ha sido el objetivo de varios experimentos anteriores y equivale aproximadamente al flujo de hierro que procede del polvo durante un año. Buques separados (“buques de distribución”) distribuirán el hierro bajo el mando del buque de investigación (“buque de medición”) que realizará las mediciones. Es probable que se utilice más de un buque de distribución.

Un buque de investigación (“buque de medición”) instalará varios instrumentos para medir el desarrollo de las proliferaciones y la posterior exportación (es decir, la captura) de la biomasa a las aguas profundas del océano.

Todos los instrumentos que se instalen podrán recuperarse.

El proyecto constará de tramos de tránsito de todos los buques desde y hacia el sitio del proyecto, la instalación de los instrumentos que demandará varios días, la distribución inicial o el “sembrado” de hasta varias semanas (seguido de la partida de los buques de distribución), la observación de las proliferaciones y la medición de la exportación de carbono.

Además de medir la eficacia de la captura de carbono, se hará hincapié en la evaluación del impacto biológico. Se tomarán varias muestras y mediciones antes, durante y después de la demostración, tanto dentro como fuera del sitio del proyecto para caracterizar la respuesta biológica y del ecosistema.

Evaluación del proyecto:

Climos tiene planes de realizar varias actividades que garantizarán la correcta evaluación de los resultados del experimento:

- El investigador principal transferirá de inmediato todos los datos generados desde el crucero hasta una base de datos pública para garantizar la transparencia y para que cualquier persona pueda evaluar las mediciones y los resultados y las conclusiones derivados de ellas.
- Se alentará a todos los participantes y usuarios de los datos a publicar sus resultados en la literatura científica abierta y a debatirlos en reuniones, congresos y seminarios de carácter científico.

- El programa Surface Ocean Lower Atmosphere Study (SOLAS, por sus siglas en inglés) y el programa Integrated Marine Biogeochemistry and Ecosystem Research (IMBER, por sus siglas en inglés) del Programa Internacional de la Geosfera y la Biosfera (IGBP, por sus siglas en inglés) están analizando establecer un procedimiento mediante el cual SOLAS e IMBER puedan proporcionar una evaluación independiente de los resultados científicos de los experimentos en un periodo adecuado tras su realización. La evaluación permitirá a los miembros del equipo científico presentar sus resultados, a las personas que no participaron en el crucero pero que utilizan los datos presentar los resultados y a la comunidad científica internacional interesada en el crucero debatir los resultados con los participantes y demás usuarios de los datos. Agradecemos mucho la colaboración de SOLAS, el programa internacional en cuyo marco se ha realizado una destacada labor para promover los experimentos anteriores de OIF, y de IMBER, un programa internacional que, entre otras cosas, se dedica a comprender el impacto de los cambios a gran escala del forzamiento oceánico, para facilitar la revisión por parte de la comunidad científica internacional.

Presentación ante el Convenio de Londres

Todos los datos publicados y los resultados del seminario se presentarán ante el LC/LP y estaremos preparados para realizar otras presentaciones ante el LC/LP con el objeto de facilitar la comprensión de los resultados del experimento.

Boyd, P. W., T. Jickells, *y col.*, (2007). "Mesoscale Iron Enrichment Experiments 1993-2005: Synthesis and Future Directions." *Science* **315**(5812): 612.

Buesseler, K. O., S. C. Doney, *y col.*, (2008). "Ocean Iron Fertilization--Moving Forward in a Sea of Uncertainty." *Science* **319**(5860): 162.