

## EL GRAN DESHIELO



### El Gran Deshielo: lecciones del verano Ártico de 2007

**Por:** David Spratt, CarbonoEquity, [info@carbonoequity.info](mailto:info@carbonoequity.info)

**Introducción:** Philip Sutton, Greenleap Strategic Institute Inc.

**Traducción:** [AlertaTierra.com](http://AlertaTierra.com), [alertatierra@terra.es](mailto:alertatierra@terra.es)

**Nota:** a menos que se mencione lo contrario, el incremento de las temperaturas corresponde al nivel preindustrial-1750. Hasta el año 2000, el aumento fue de 0,7 grados y hasta el 2006 de 0,8° C.

## El Gran Deshielo. Lecciones del verano Ártico de 2007

### Resumen Ejecutivo.

- Los impactos del cambio climático se están sufriendo incluso con aumentos inferiores de temperaturas y de forma más rápida de lo proyectado.
- El hielo flotante del Ártico se encamina hacia una rápida desintegración en el verano, tan pronto como en el 2013, un siglo antes de las proyecciones realizadas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC).
- La rápida pérdida del hielo del océano del Ártico acelerará la desintegración de la Placa de Hielo de Groenlandia, y es probable que en este mismo siglo se produzca una elevación del nivel de los océanos incluso de hasta 5 metros.
- La plataforma de hielo de la Antártica es mucho más susceptible al aumento de las temperaturas de lo que se ha pensado anteriormente.
- La sensibilidad a largo plazo del clima (incluso las reacciones “lentas” tales como las reacciones del ciclo del carbono que ahora se empiezan a percibir) podrían doblar las cifras estándar expuestas por el IPCC.
- Doblar la sensibilidad del clima significaría que hemos superado ampliamente el umbral aceptable de los 2 grados Celsius de “interferencia antropogénica peligrosa” del clima hace cuatro décadas, y requeriría que encontráramos los medios para conseguir una rápida reducción de los gases atmosféricos de efecto invernadero actuales.
- Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) aumentan ahora más rápidamente que las de las proyecciones de emisiones de “business-as-usual” (BAU), el escenario más pesimista planteado por el IPCC.
- Las temperaturas se encuentran ahora dentro de  $\approx 1^{\circ}\text{C}$  de las temperaturas máximas de los últimos millones de años.
- Debemos establecer unos objetivos y tomar acciones que puedan resolver el problema actual lo antes posible.
- El objetivo del asesoramiento de la relevancia política debe ser el de evitar los resultados inaceptables y las posibilidades aparentemente extremas o alarmantes, no sólo determinar el resultado que aparentemente será probable.
- El umbral del calentamiento en los 2 grados Celsius es un compromiso político; con la velocidad del cambio que se produce ahora en el sistema climático y las reacciones positivas que provocarán los  $2^{\circ}\text{C}$ , esto podría significar la pena de muerte para millones de personas y especies.
  - Probablemente será necesario restablecer la seguridad a largo plazo del hielo del verano del Ártico para devolver el calentamiento global a un nivel de, o por debajo de  $0,5^{\circ}\text{C}$  (una medida de precaución del calentamiento a largo plazo) y para el nivel de gases atmosféricos de efecto invernadero en equilibrio, tendrían que reducirse a, o por debajo del nivel de precaución de 320 ppm CO<sub>2</sub>e.
- El IPCC sufre una reticencia científica y en muchas áreas claves el proceso del IPCC ha sido tan deficiente como para convertirse en una base no fiable y peligrosamente engañosa para los que aprueban las normas.

**Cubierta:** deshielo fluyendo por un “Moulin”, una corriente vertical de agua que transporta el agua del deshielo a la base de las placas de Groenlandia. Fotografía: Roger Braithwaite de la Universidad de Manchester (Reino Unido).

## Trayectoria de emisiones

Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) están aumentando a un ritmo creciente: un estudio de mayo de 2007 determinó que el crecimiento anual de emisiones de CO<sub>2</sub> globales causadas por la actividad humana subió de una media de un 1.1 por ciento de 1990-1999 a más de un 3 por ciento de 2000-2004. La tasa de crecimiento desde el año 2000 es mayor que la de las proyecciones de emisiones de “business-as-usual” (BAU), el más intensivo de los escenarios de emisiones de combustible fósil del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), y “ninguna región está descarbonizando su suministro de energía (Raupach et al., 2007).

El estudio también determinó que mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub> se están acelerando a nivel mundial, obtenemos menos beneficios económicos por cada tonelada de combustible fósil quemado. El reconocido autor Michael Raupach, co-director del Proyecto Global de Carbono ubicado en Canberra, explica que: “Un conductor principal que acelera la tasa de crecimiento de emisiones globales es que, globalmente, quemamos más carbono por dólar que la riqueza creada (Informe de Innovations, 2007). Al comprobar los mismos datos en Australia, Raupach determinó que las emisiones de carbono de Australia han aumentado el doble que la media global durante los últimos 25 años, y más o menos el doble del ritmo de crecimiento de emisiones en los Estados Unidos y Japón. Raupach concluye que porque “las emisiones aumentan a un ritmo mayor del que pensábamos... los impactos del cambio climático también tendrán lugar antes de lo esperado” (Minchin, 2007).

El creciente ritmo de emisiones de CO<sub>2</sub> se refleja en un aumento anual mayor del nivel de CO<sub>2</sub> atmosférico. La subida media de 1.5 partes por millón (ppm) de 1970-2000 ha aumentado a 2.2 ppm desde el año 2001 (Adam 2007c). James Hansen calcula que “si avanzamos otros 10 años, para el 2015, al ritmo actual de crecimiento de emisiones de CO<sub>2</sub>, que se sitúa aproximadamente en un 2 por ciento al año, las emisiones en 2015 serán un 35 por ciento mayores de lo que eran en el 2000”, y esto conduciría a escenarios de emisiones, para evitar el peligroso cambio climático, mucho más allá del alcance (CONNOR, 2007a).

Hansen, director del Instituto Goddard de Ciencia Espacial de la NASA, y uno de los científicos climáticos más eminentes del mundo, afirma que debemos “comenzar a cambiar nuestros sistemas energéticos en una dirección fundamentalmente diferente dentro de aproximadamente una década, o habremos empujado al planeta más allá del punto sin retorno del que será imposible volver atrás y evitar las indeseables consecuencias”. Hansen advierte que el calentamiento global, dos o tres grados por encima de los niveles actuales de temperatura, produciría un planeta sin hielo oceánico en el Ártico, una elevación del nivel de los océanos catastrófica en torno a los 25 metros y una gran sequía en el oeste de América, sur de Europa, Oriente Medio y zonas de África. “Este escenario amenaza con ser una calamidad incluso peor, porque podría desatar reacciones anteriores tales como la liberación del metano congelado en el Ártico, tal y como sucedió hace 55 millones de años, cuando se extinguieron más del noventa por ciento de las especies en la Tierra” (Hansen, 2006b).

Tony Blair y su homólogo holandés, Jan Peter Balkenende, explicaron a los Líderes Europeos en el año 2006 que “sin una acción al respecto, los científicos calculan que podríamos estar avanzando hacia una subida de las temperaturas de al menos tres o cuatro grados por encima de los niveles preindustriales... Tenemos un margen de tan sólo 10 ó 15 años para evitar cruzar el momento catastrófico cumbre. Esto tendría consecuencias catastróficas en nuestros proyectos de crecimiento económico, en la seguridad de nuestras gentes y el suministro de recursos, y de forma más notable en el de la energía” (Colebatch, 2006).

Los niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub> se encuentran ahora sustancialmente por encima de los de cualquier momento en la historia pasada de la Tierra desde hace 800.000 años. Los niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub> aumentaron 30 ppm durante los últimos 17 años, las perforaciones del hielo en la Antártica demuestran que en los últimos millones de años, antes de tiempos recientes, la velocidad máxima en el aumento del dióxido de carbono fue de 30 ppm sobre un período de 1.000 años.

La velocidad de desequilibrios del calor se sitúa muy por encima de la historia climática reciente del planeta: “realmente nos encontramos en un momento del que no existe precedente en nuestra historia”, afirma el doctor Eric Wolf, del Instituto Británico de Investigación Antártica (Amos, 2007). Observaciones recientes del Ártico, y sus implicaciones en la placa de hielo de Groenlandia y el aumento del nivel de los océanos, sugieren que ya podríamos encontrarnos o estar muy cerca de ese punto sin retorno.

En 2004, la Agencia de Energía Internacional proyectó que las emisiones de CO<sub>2</sub> aumentarían un 63 por ciento sobre los niveles de 2002 para el año 2030 (IEA, 2004). Las proyecciones de emisiones de “business-as-usual” (BAU) utilizarán una energía global mayor del doble para el 2050, desde el equivalente a 10 gigatoneladas de petróleo (Gtoe) a 22 Gtoe, con un aumento de un 70 por ciento de los combustibles fósiles, según el informe de 2007 del World Energy Technology Outlook de la Unión Europea. El informe asume que la energía eficiente casi se duplicará para soportar una economía que es cuatro veces mayor que la de hoy, pero aún así

determina que el “perfil de emisión resultante corresponde a una concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de entre 900 y 1.000 ppm en 2050. Este valor supera con creces lo que se considera como un nivel aceptable para la estabilización de la concentración” (Unión Europea, 2007: 12-13). La conclusión es que las reducciones de las emisiones de carbono llegarán demasiado tarde para conseguir revertir el cambio climático si se continúa actuando como hasta ahora en Europa y en el resto del mundo, y esto sucedería a pesar de un “masivo” aumento de las renovables después del 2030, incluyendo un rápido desarrollo de nuevas tecnologías como las eólicas frente a las costas.

Con emisiones peores que las proyecciones de emisiones de “business-as-usual”, las proyecciones del IPCC podrían ser bastante conservadoras. El aumento de la temperatura desde 1990 a 2005 – 0.33° C – estaba cerca del tope de la media de los modelos de predicciones climáticas del IPCC, y en general “los datos disponibles para el período desde 1990 aumentan las preocupaciones de que el sistema climático, en concreto el nivel oceánico, podría estar respondiendo más rápidamente al cambio climático que lo que indicaban nuestros modelos actuales” (Rahmstorf, Cazenave et al., 2007). Según un nuevo modelo de la NASA, el escenario pesimista de proyecciones de emisiones de “business-as-usual” del IPCC muestra una predicción de un incremento medio de 4.7°C para el 2100, pero, por ejemplo, la media de temperaturas en el verano del Este de los Estados Unidos podría elevarse 5,5° C (°0°F) para el 2080, si las emisiones humanas continúan al ritmo de crecimiento actual de un 2 por ciento al año (Brahic, 2007b).

Hasta ahora, las temperaturas han aumentado 0,8°C por encima de los niveles preindustriales. Debido a la “inercia termal” o por los retrasos en el sistema, habrá otros 0,6°C de recalentamiento como resultado de la contaminación que ya hemos emitido al aire (Hansen Nazarenko et al., 2006). Hansen y sus colaboradores ya sugieren que “la comparación de temperaturas superficiales oceánicas medidas en el Oeste del Pacífico con datos del Paleoclima, sugieren que esta crítica región oceánica, y probablemente el planeta como un todo, se encuentran ahora aproximadamente tan calientes como durante el nivel máximo del Holoceno y dentro de ≈1°C de la temperatura máxima de los últimos millones de años. Concluimos que el calentamiento global de más de ≈1°C, en cuanto al año 2000, constituirá un cambio climático “peligroso”, a juzgar por los probables efectos en el nivel del océano y la exterminación de las especies” (Hansen, Sato et al., 2006).

Con una subida por encima de los niveles preindustriales de 0,7°C hasta el 2000, el objetivo de Hansen es de 1.7°C, aún hoy 1.4°C ya se encuentra en el sistema y las emisiones están peor que el escenario más pesimista del IPCC. Las implicaciones para las elaboraciones de normativas están mucho más allá del discurso público actual.

### **La acelerada pérdida de los casquetes polares del Ártico**

“Todos estamos habituados a hablar sobre estos impactos que tendrán lugar durante las vidas de nuestros hijos y nietos. Ahora sabemos que tendrán lugar en el transcurso de nuestras vidas”– Profesor Martin Parry, co-director del grupo de trabajo del IPCC sobre Impactos (Adam, 2007b).

Eventos en el Ártico, en el verano del norte en 2007, tienen importantes consecuencias para la elaboración de normas, la credibilidad del IPCC, la proyección del incremento de los niveles de los océanos y la pregunta sobre si habremos traspasado ya uno de los puntos más críticos de la interferencia antropogénica peligrosa.

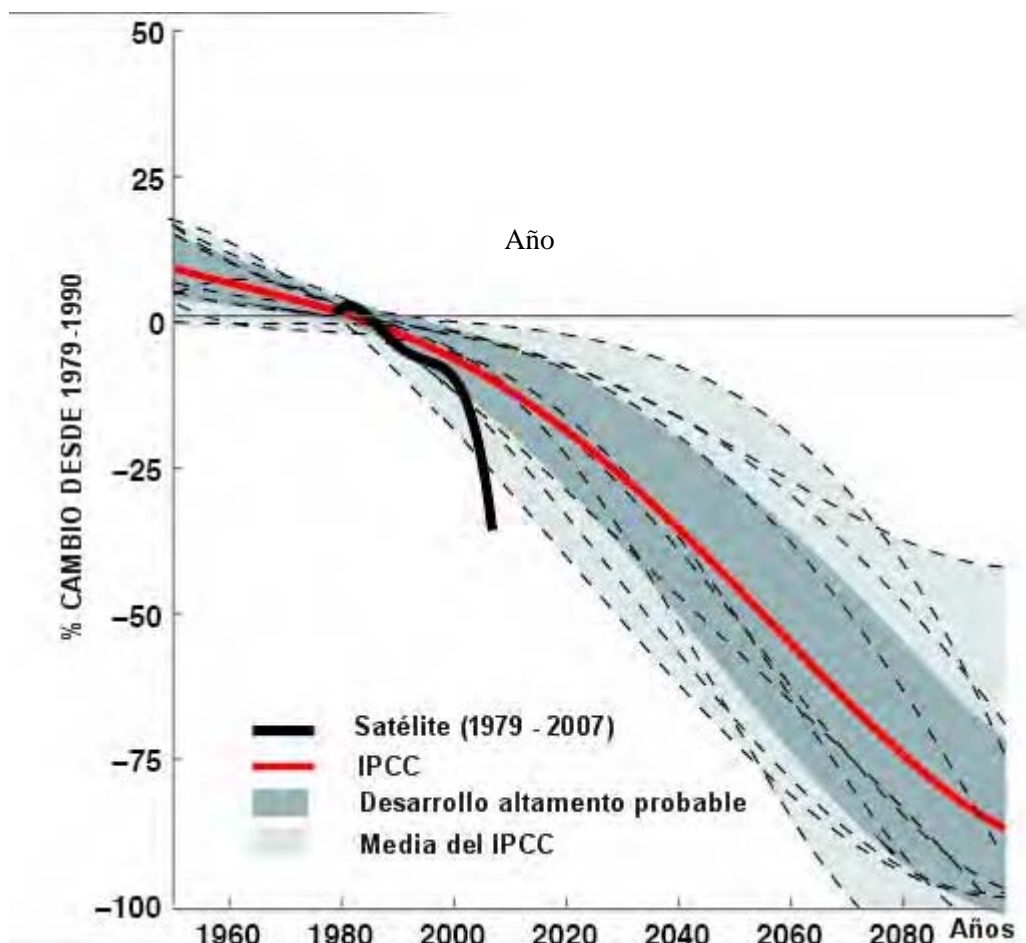
En su Cuarto Informe de 2007, el IPCC explicó que: “El hielo del mar del Ártico está respondiendo de forma sensible al calentamiento global. Mientras que los cambios en la capa de hielo del mar en invierno son moderados, se prevé que la capa de hielo oceánica de finales del verano desaparezca casi por completo para finales del siglo XXI” (IPCC, 2007a:776).

Pero incluso antes de que fueran redactadas, las proyecciones de 2007 del IPCC se habían quedado bastante obsoletas en cuanto a la realidad física del medio ambiente. A finales de 2005, Tore Furevik del Instituto Geofísico en Bergen había demostrado gráficamente que “el reciente retroceso del hielo oceánico (del Ártico) es mayor que cualquiera de los (19) modelos del IPCC” (Furevik, 2005). En diciembre de 2006, los datos presentados en la Conferencia de la Unión Geofísica de América sugerían que el Ártico podría estar libre de hielo a principios del verano de 2030 y posiblemente para el año 2040 (Holland, Bitz et. Al., 2006) – estableciendo una curva con implicaciones dramáticas para toda la región del Ártico (Amos, 2006).

Esto fue confirmado por estudios publicados en marzo y mayo de 2007 (Serreze, Holland et al., 2007; Stroeve, Holland, et al., 2007) que condujeron al climatólogo de Penn State, Richard Alley, a comentar que parecía que las placas de hielo se estaban hundiendo “100 años antes de la fecha prevista” (Spotts, 2006).

A pesar de las advertencias, los expertos estaban “alarmados” ante la extensión de la Placa de hielo del Ártico que se había perdido durante el verano de 2007 en el norte; Mark Serreze, especialista en el Ártico del Centro Nacional de los Estados Unidos de Datos de Nieve y Hielo (NSIDC) en la Universidad de Colorado, en Denver,

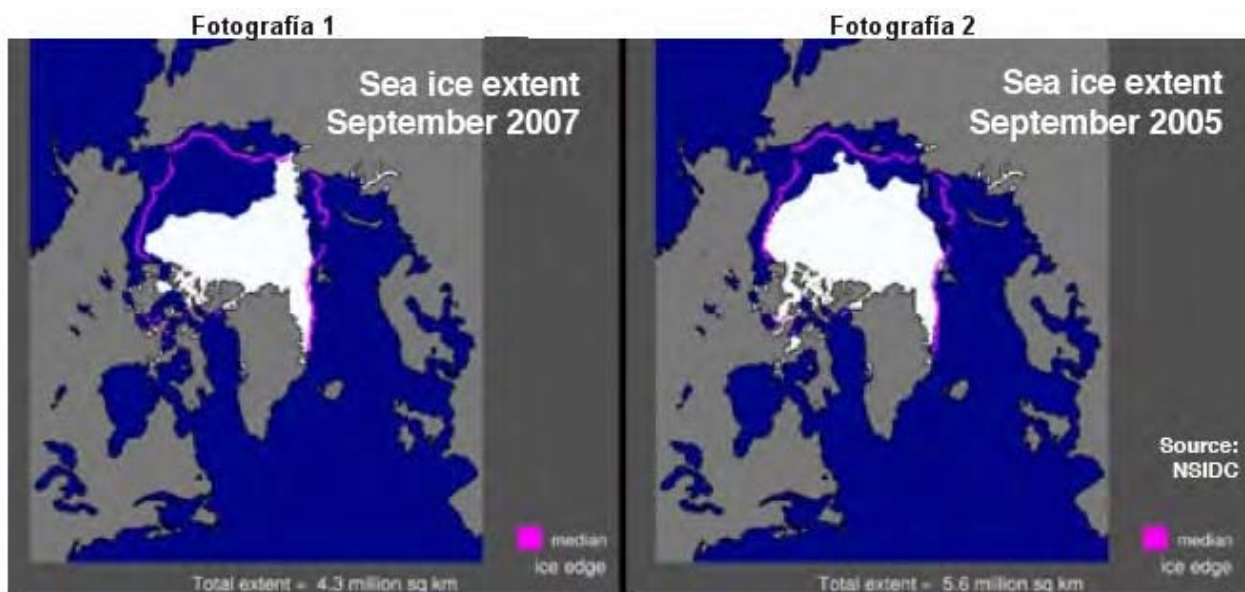
explicó al periódico "The Guardian": "Es asombroso. Se desprende de un acantilado y todavía seguimos perdiendo hielo" (Adam, 2007a). (..)



**Pérdida de hielo del hielo oceánico del Ártico en verano, comparado con las proyecciones del IPCC**

La extensión de hielo perdido en el Ártico hasta septiembre de 2007 comparado con los modelos pronosticados por el IPCC utilizando el escenario SRES A2 CO<sub>2</sub> (IPCC escenario alto CO<sub>2</sub>). Datos de observaciones vía satélite de pérdidas de hielo en septiembre. Los datos se han extendido por un 4º orden

polinomio a una variabilidad de año a año. Gráfico por cortesía del Dr. Asgeir Sorteberg. Centro de Investigación Climática y Centro Universitario en Svalbard, Noruega.



Fotografía 1.  
Extensión de hielo oceánico, septiembre de 2007.  
Extensión total = 4.3 millones de kilómetros cuadrados.

Fotografía 2.  
Extensión de hielo oceánico, septiembre 2005  
Extensión total = 5.6 millones de kilómetros cuadrados.

Fuente: NSIDC

(..)

El mínimo de hielo Ártico el 16 de septiembre de 2007 era de 4,13 millones de kilómetros cuadrados, comparado con los mínimos históricos anteriores de 5,32 millones de kilómetros cuadrados en 2005, lo que representa una disminución de un 22 por ciento en dos años: “El mínimo para 2007 rompe el esquema de los cinco días anteriores de mínimo histórico establecidos el 20-21 de septiembre de 2005, con 1,19 millones de kilómetros cuadrados, aproximadamente el tamaño de Texas y California, juntos, o casi cinco islas como la del Reino Unido” (NSIDC, 2007). Esta extensión de pérdida de hielo de más del 20 por ciento en dos años se compara con la tendencia decreciente de hielo de un 7 por ciento por década entre 1979 y 2005 (Alley, 2007). Es probable que el retroceso del hielo sea incluso mayor durante el próximo verano, ya que la congelación del invierno está empezando con un gran déficit de hielo (Revkin, 2007).

El científico investigador del NSIDC dijo que era “la mayor disminución comparada con una cifra histórica anterior que han podido detectar, lo que es bastante asombroso... Ciertamente hemos sufrido una tendencia a la baja durante los últimos 30 años o así, pero esta tendencia de ahora está bastante acelerada” (McCarthy, 2007). Así mismo, extensas zonas de hielo del mar del Ártico sólo presentan ahora un metro de profundidad, lo que significa que el grosor del hielo es la mitad desde 2001 (Bjornes, 2007) y que ha disminuido de un grosor de 3,5 metros a principios de los 60, y sobre 2,5 metros a finales de los 80 y principios de los 90, perdiendo más del 80 por ciento de su volumen en 40 años. Cuando el grosor se reduzca a la mitad de un metro, sufrirá una desintegración incluso más rápida debido a la erosión de las olas y del viento.

Serreze explica que podríamos haber alcanzado el punto álgido en el que tiene lugar una desintegración rápida del hielo oceánico: “La pregunta es si ya estamos en ese punto o si ese punto estará por llegar en 10 ó 20 años... Mi intuición me dice que ya hemos llegado a ese punto” (Connor 2007b) y “haciendo una conjetura diplomática, ahora mismo podríamos decir que para el año 2030” tendremos un verano sin hielo en el Ártico (McCarthy, 2007). Su colega en Colorado, Ted Scambos, está de acuerdo: “Decir que para el 2030 no es algo descaminado... pero yo no descartaría el año 2020, sin linealidad y reacciones” (Scambos, 2007). Estos puntos de visto son apoyados por Ron Lindsay de la Universidad de Washington: “Nuestra hipótesis es que ya hemos alcanzado ese punto sin retorno. En cuanto al hielo oceánico, la contrapartida es que el aumento del deshielo en verano significa que habrá una menor acumulación de hielo en invierno y, por lo tanto, un mayor deshielo el verano siguiente, y así sucesivamente” (Connor y McCarthy, 2006). El Australiano del Año, Tim Flannery,

sugiere que “según la trayectoria establecida por el nuevo ritmo de deshielo, no habrá placas de hielo en el Ártico en unos 15 años” (Flannery, 2006). El doctor Wieslaw Maslowski de la Escuela Naval de Posgraduado en California, cuyos estudios se centran en modelar los procesos de la pérdida del hielo oceánico en el Ártico, proyecta un Océano azul en el Ártico, libre de hielo oceánico para el verano de 2013 (Revkin, 2007), siendo la razón principal el grosor y volumen que parecen estar disminuyendo a una velocidad mucho mayor que la extensión de hielo que se observa desde el satélite (Maslowski, 2007). El trabajo de Maslowski sugiere que el hielo oceánico está perdiendo grosor de manera significativa debido al efecto del calentamiento del fondo de los mares, no sólo por el aumento de las temperaturas del aire.

“La razón por la que se ha deshelado tanto hielo de repente (en el Ártico) es que hemos alcanzado un punto del que hemos estado advirtiendo durante los últimos años”, explica James Hansen de la NASA; el Instituto Alemán Potsdam para la Investigación sobre el Impacto Climático dice que el hielo del mar del Ártico “ha llegado al momento crítico”; mientras que Paal Prestrud del Centro para la Investigación del Clima Internacional y Medio Ambiente en Oslo dice “Yo diría que estamos llegando al momento crítico o que lo hemos superado, en lo que se refiere al hielo. Este es un fuerte indicio de que existe un mecanismo de amplificación aquí” (Doyle, 2007).

La cuestión es que el Ártico se encamina irreversiblemente y muy rápidamente hacia un verano sin hielo, mucho más allá de lo que esperaba el IPCC cuyos escenarios para el Ártico ya no son creíbles (ver gráfico), ni los puntos de vista de la mayoría de los científicos de hace dos o tres años. Deja palpable la no linealidad en los sistemas climáticos que deberían reforzar la necesidad de tomar medidas estrictas para determinar lo que probablemente será la peligrosa interferencia del hombre, y sobre cómo deberíamos responder construyendo escenarios de emisiones y medidas para evitarlo.

### **Estabilidad de la Placa de Hielo de Groenlandia**

El calentamiento global, hasta ahora, ha sido mayor en las latitudes altas del hemisferio norte, concretamente en los bosques boreales subárticos de Siberia y Norteamérica (ACIA 2005). Las temperaturas del Ártico aumentarán mucho más rápido que la media global: con un calentamiento global de 2°C, el incremento de temperatura anual sobre el Ártico (60-90°N) es probable que se sitúe entre 3.2° y 6.6°C (0.45° a 0.75°C por década, y posiblemente tanto como 1.55°C por década) (New, 2006).

La afirmación de que un aumento en la temperatura de 2°C será difícil de evitar, se ha extendido desde Nicholas Stern (Stern, 2006a:4) hasta el codirector del Grupo de Trabajo de Impactos del IPCC, Martin Parry (Adam, 2007b). Pero, de hecho, con un calentamiento medio global incluso por debajo de los dos grados, tendrá lugar un elevado deshielo de la mayor parte de la Placa de Hielo de Groenlandia (Hansen, 2005). El umbral crítico de deshielo para Groenlandia es el aumento regional de 2.7 grados (Gregory, Huybrechts et al, 2004), pero con su aumento de temperaturas al menos 2.2 veces la media global (Chylek y Lohmann, 2005), este punto se habrá superado sólo con el aumento de un grado a nivel global. (Sin embargo, el informe de 2001 del IPCC pensaba que ni Groenlandia ni la Antártica sufrirían una pérdida significativa de hielo para el 2100).

La pérdida del hielo del mar del Ártico “100 años antes de la fecha prevista” pone sobre la mesa dos preguntas importantes sobre el Casquete Polar de Groenlandia: ¿cuál será el efecto de alcanzar el punto máximo de la pérdida de hielo de Groenlandia?; y ¿cuál será el efecto del ritmo de la pérdida de hielo de Groenlandia (que si se alcanza por completo aumentaría el nivel oceánico global en 5-7 metros)?

El incremento de las temperaturas regionales del Ártico, como consecuencia de la pérdida del hielo oceánico y el efecto albedo (el hielo blanco reflectante reemplazado por el mar, oscuro y absorbente de calor) ya han alcanzado “el punto máximo a partir del cual los glaciólogos creen que el Casquete Polar (de Groenlandia) estaría condenado a desaparecer”; este deshielo acelerado “está siendo causado por el agua de deshielo penetrando por las fisuras y lubricando los flujos de los glaciares... El hielo, en efecto, se desliza al océano en ríos de agua”, un efecto no incluido en los modelos del efecto del calentamiento global en el Ártico (New Scientist, 2006). Un estudio reciente determinó que la Placa de Hielo de Groenlandia “podría estar derritiéndose a un ritmo tres veces más rápido que lo que indicaban las observaciones anteriores” y que “esa pérdida de masa está aumentando con el tiempo” (Young, 2006). En 2006, Groenlandia experimentó más días de deshielo de la nieve que la media habitual de la isla de varias décadas (Saupe, 2007), los bordes del Casquete Polar se están deshelando a una velocidad 10 veces más rápida que la que indicaron en un estudio anterior, y la altura de la Placa de Hielo está disminuyendo hasta 10 metros al año (Shukman, 2007). Además, las Placas de Hielo de Groenlandia se derriten tan rápido que están provocando terremotos al desprenderse piezas de hielo de varios kilómetros cúbicos, con “una masiva aceleración de la velocidad en que estos glaciares se desplazan al mar” (Brown, 2007).

James Hansen destaca que “la desintegración de la Placa de Hielo empieza lentamente pero que varias reacciones múltiples pueden producir un colapso no lineal” y entonces “el equilibrio de subida del nivel del mar frente a unos 3°C de recalentamiento ( $25 \pm 10$  m = 24 metros) implica que perdamos el control” porque “no podemos ponerle un cinturón a una placa de hielo que se derrumba” (Hansen 2006a, Hansen 2006b).

En este punto, hay un problema metodológico: los científicos climáticos han tenido dificultades pronosticando las corrientes y dinámicas de las placas de hielo (Oppenheimer y Alley, 2004). Robert Corell, un científico de los Estados Unidos con base en el Ártico y miembro del IPCC dice de Groenlandia: “Ahora nadie sabe cuándo se derretirá... No hay precedentes de todo esto en la ciencia... Hasta hace poco, por ejemplo, no podíamos creer que pudiera suceder que el agua penetrara un glaciar hasta el fondo. Pero, eso lo que está sucediendo. Conforme el agua se estanca, abre más zonas para que el hielo se derrita” (Milton, 2007). Con la incertidumbre y la falta de proyecciones verificables, a nivel oficial se dice poco, o lo que se dice resulta ser peligrosamente conservador. Esto es lo que el informe del IPCC de 2007 hizo con respecto al aumento del nivel de los océanos, al pronosticar un aumento de 18-59 centímetros para el año 2100 basándose en modelos que “no incluyen el potencial aumento que suponen los procesos dinámicos rápidos en Groenlandia y en las Placas del Oeste de la Antártica, que ya han tenido un significativo efecto en el nivel del mar durante los últimos 15 años y que podrían aumentar el nivel de los océanos muchos metros. A falta de estos pronósticos, los modelos no pueden explicar del todo las observaciones del reciente aumento del nivel de los océanos, y por consiguiente, las proyecciones basadas en este tipo de modelos podrían subestimar seriamente los potenciales aumentos futuros” (Oppenheimer, O’Neill et al., 2007).

Pero la carencia de proyecciones probadas no significa que amplias zonas de Groenlandia no hayan superado ya el punto sin retorno, sólo porque no haya modelos estrictos, verificables para afirmar esta aseveración. Lo mismo sucedió con el hielo del mar del Ártico, que fue por lo que se utilizó el conservadurismo del método científico, porque había un fallo en predecir los eventos hasta que ya los teníamos encima, momento en el que aquellos científicos que habían especulado sobre lo que iba a suceder, se sobresaltaron al comprobar la pérdida de hielo del mar del norte en el verano de 2007.

James Hansen identifica una “reticencia científica” que “al menos en algunos casos, dificulta la comunicación con el público sobre los peligros del calentamiento global... La reticencia científica podría ser una consecuencia del método científico. El éxito en la ciencia depende de un escepticismo objetivo. La precaución, si no reticencia, tiene sus méritos. Sin embargo, en el caso de la inestabilidad de una placa de hielo y una elevación del nivel de los mares, el peligro estriba en tomar una precaución excesiva. Podemos lamentar la reticencia, si sirve para negar desastres futuros” (Hansen, 20007a).

Pero hay otras fuentes útiles que los modelos para pensar sobre el probable ritmo futuro de pérdida de la placa de hielo de Groenlandia, incluyendo otros expertos y la Paleoclimatología. En respuesta a las importantes preocupaciones del Grupo de Trabajo I, Resumen para Políticos 2007 del IPCC, se ha propuesto que la base de los datos entrantes sea ampliada “para admitir pruebas de observación, del Paleoclima o pruebas teóricas de un fenómeno poco comprendido para compararlo con las pruebas de los pronósticos numéricos. En las zonas en las que las pruebas de pronóstico son escasas o no hay, el IPCC en ocasiones no facilita ningún tipo de cálculo. En otras zonas, se utilizan modelos que tienen estructuras cuantitativas similares, lo que conlleva a unas proyecciones con una gran confianza artificial (por ejemplo, en el nivel del mar, circulación oceánica, y ejemplos del ciclo del carbono, arriba). Una posible mejora podría ser para el IPCC la inclusión de las aseveraciones realizadas por expertos de reconocido prestigio” (Oppenheimer, O’Neill et al., 2007).

La afirmación de un experto sugiere: “¿Podría la placa de hielo de Groenlandia sobrevivir si el Ártico se queda sin hielo en el verano y el otoño? Se ha hablado que no solo es improbable que la placa de hielo sobreviva, sino que su desintegración será un proceso que podría avanzar rápidamente. Por lo tanto, un Océano Ártico libre de hielo, debido a que podría acelerar el deshielo de Groenlandia, podría tener consecuencias en el nivel global de los océanos, así como en el medio ambiente regional, haciendo que el cambio climático Ártico sea relevante para definir las peligrosas interferencias del hombre” (Hansen y Sato, 2007).

Extraoficialmente, los investigadores climáticos del Ártico dirán que esto no es un punto de vista irrazonable; oficialmente dirían que no hay modelos verificables que produzcan este resultado. Estas afirmaciones no están en contradicción.

Así, por ejemplo, Eric Rignot, un autor de peso (Rignot y Kanagaratnam, 2006) al que se ha expuesto que se ha perdido el doble del casquete polar de Groenlandia en una década, ha comentado que “Estos resultados nos dejaron atónitos... Los glaciares nos están enviando una señal. Probablemente Groenlandia esté contribuyendo más y más rápido, a la subida del nivel del océano, de lo predicho por los modelos actuales” (New Scientist, 2006). Otra opinión reconocida proviene de Robert Correll, de la Evaluación del Impacto Climático Ártico, quien informa que, según se menciona más arriba, la capa de hielo de Groenlandia se está deshelando tan rápidamente que está causando terremotos conforme se van rompiendo piezas de hielo de varios kilómetros cúbicos, de modo que “los científicos que han monitoreado eventos este verano dicen que la

aceleración podría ser catastrófica en cuanto a la elevación del nivel del océano, por lo que las predicciones realizadas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático este mes de febrero se sitúan bastante por debajo del nivel real” (Brown, 2007).

En cuanto al récord del Paleoclima, la media de temperaturas globales se encuentra dentro del margen de 1°C de aquellas que deshelaron la mayor parte de la capa de hielo de Groenlandia hace unos 130.000 años, cuando el planeta apenas tenía glaciares en los continentes y el nivel del mar era 5-6 metros más alto que ahora. Parece que el calentamiento global está empujando grandes reservas de hielo en Groenlandia y la Antártica hacia un significativo, deshielo a largo plazo, y que el mundo podría contar con tan sólo una década para tomar las medidas necesarias para evitar este escenario (Spotts, 2006; Hansen, 2005; Hansen, Sato et al, 2006).

En resumen, es razonable esperar una rápida pérdida del hielo del mar Ártico, con un impacto significativo en las temperaturas regionales debido al efecto albedo. También es razonable esperar que, como consecuencia de ello, tenga lugar una aceleración del ritmo de pérdida de la placa de hielo de Groenlandia, que podría encontrarse ya o estar muy cerca de su punto álgido de desintegración de una extensa parte de la placa de hielo, una situación que se pronosticaba que no tendría lugar hasta dentro de mucho tiempo. La precaución sugiere que tengamos que tener muy en cuenta la posibilidad de estos resultados, especialmente debido a su mayor impacto sobre el sistema climático (NASA, 2007), y en cuanto a lo que producirá la pérdida de la placa de hielo de Groenlandia en la elevación del nivel del mar, quizás en tan sólo un siglo, más o menos.

### **Pronóstico de elevación de los niveles del océano para el año 2100**

La sugerencia del informe del IPCC de 2007 acerca de una elevación del nivel del océano para el 2100 de 0.18-0.59 m (IPCC, 2007: 820) fue recibida con consternación por muchos científicos climáticos. Antes de que se publicara este informe, los datos del satélite mostraban que los niveles del océano habían subido una media de 3.3 mm al año entre 1993 y 2006, mientras que el informe del IPCC de 2001, por el contrario, proyectaba una subida de menos de 2 mm al año (Brahic, 2007a). A finales de 2006, la investigación concluyó que los cálculos anteriores, sobre cuánto iba a subir el nivel del océano del mundo como resultado del calentamiento global, podrían haber subestimado gravemente el problema (Ramsdorf et. Al, 2007). El reconocido investigador Steve Rahmstorf dijo que los datos de los que se disponía ahora “aumentan la preocupación de que el sistema climático, en concreto el nivel del océano, podría estar respondiendo con mayor rapidez de lo que indicaban los modelos climáticos” (Chandler, 2006).

Así que ¿cuánto subirán los niveles del mar este siglo, y en concreto, a qué velocidad se desintegrarán las placas de hielo de Groenlandia y del Oeste de la Antártica, y qué influencia tendrá la “prematura” pérdida del hielo del mar Ártico sobre el ritmo de pérdida de Groenlandia? Esta pregunta ha causado un gran debate en los círculos científicos porque hay un reconocimiento general de que estará bastante por encima de lo que sugiere el IPCC, pero no hay modelos fiables de pronóstico de la desintegración de la placa de hielo. Sin embargo, este tópico ahora está sujeto a un trabajo de colaboración urgente entre un número de agencias de los Estados Unidos y centros de investigación.

El liderazgo en este asunto ha sido asumido por James Hansen y sus colaboradores en un número reciente de documentos revisados (Hansen, 2005; Hansen y Sato, 2007a; Hansen, Sato, et. Al., 2007), en los que su argumento esencial, basado en los datos del Paleoclima, es que el aumento del nivel del océano probablemente será de unos 5 metros este siglo si las emisiones continúan en la trayectoria de las proyecciones de emisiones de “business-as-usual”. He aquí lo más destacable de las afirmaciones de Hansen [todos los recalentamientos, en este material al que se ha hecho alusión, son relativos a la temperatura en el año 2000]:

*Para mí es del todo inconcebible que las proyecciones de emisiones del cambio climático “business-as-usual” no den como resultado un aumento en el nivel del mar de metros, durante este mismo siglo... Porque mientras que la acumulación de las placas de hielo tarda milenios, la desintegración de las placas de hielo es un proceso que puede tener lugar rápidamente.*

*La primera pregunta es si el recalentamiento global alcanzará un nivel tal que los casquetes polares comienzan a desintegrarse de una manera rápida, no lineal, en el Oeste de la Antártica, Groenlandia o en ambos. Una vez en marcha, este colapso podría ser imposible de detener, porque hay múltiples factores implicados. En ese caso, habría que esperar una elevación del nivel del océano de varios metros.*

*Pongamos un ejemplo, digamos que el deshielo de la placa de hielo añade 1 centímetro al nivel del océano durante la década de 2005 a 2015 [este es un ritmo menor del actual – DS], y que este ritmo se dobla cada década hasta que la placa de hielo del Oeste de la Antártica se vea extensamente mermada. Esto, para el año 2095, elevaría el nivel del océano en más de 5 metros.*

*Por supuesto, no puedo probar que mi elección de doblar el ritmo cada diez años sea el correcto, pero apostaría cien mil dólares a que es un cálculo mucho más acertado sobre la contribución del deshielo de la placa de hielo al aumento del nivel del mar, que una respuesta lineal. En mi opinión, si el mundo se recalienta de 2°C a 3°C, este aumento masivo del nivel del mar es inevitable, y una fracción sustancial de esta subida tendría lugar en este mismo siglo. La proyección "business-as-usual" del calentamiento global casi seguro conduciría el planeta a un punto sin retorno, garantizando un grado devastador de elevación del nivel del mar.*

*Aunque algunos expertos en el casquete polar piensan que las placas de hielo son más estables, creo que sus puntos de vista se basan parcialmente en una creencia errónea de que la Tierra ha estado 2°C más caliente durante períodos anteriores interglaciales, cuando el nivel del océano se encontraba unos metros por encima de su nivel actual. Existen pruebas muy concluyentes de que la Tierra se encuentra ahora 1°C por encima de su temperatura más alta en el millón de años pasados. Los isótopos de oxígeno en el plancton fósil del fondo oceánico, conocidos como foraminífera revelan que la Tierra tenía de 2° a 3° C más hace unos 3 millones de años, con niveles de dióxido de carbono de quizás 350 a 450 partes por millón. Entonces era un planeta dramáticamente diferente, sin hielo oceánico en el Ártico durante las temporadas cálidas y un nivel oceánico aproximadamente 25 metros más alto, 10 metros arriba o abajo.*

*No existe un conocimiento lo suficientemente documentado sobre las consecuencias que tendrían lugar al liberar al aire una extensa fracción del carbono almacenado en el suelo desde hace miles de años. La fuerza climática causada por estos gases de efecto invernadero empujaría toda fuerza climática que haya tenido lugar en los miles de años pasados – el período para el que existen datos fehacientes en la base de los glaciares sobre la composición atmosférica.*

*Los modelos basados en los escenarios "business-as-usual" del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) predicen un calentamiento global de al menos 3°C para finales de este siglo. De lo que no se dan cuenta muchas personas es de que estos modelos, por lo general, sólo incluyen las reacciones rápidas: cambios en el hielo del mar, nubes, vapor de agua y aerosoles. El calentamiento global actual podría ser mayor cuando entren en juego las reacciones más lentas: un incremento de la vegetación en altitudes altas, el retroceso de las placas de hielo y más emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la tierra y del mar, en respuesta al cambio climático.*

*La última proyección del IPCC con respecto al aumento del nivel del mar durante este siglo es de 18 a 59 centímetros. Aunque menciona explícitamente que fue incapaz de incluir las respuestas dinámicas de las placas de hielo en sus cálculos, la provisión de estos datos específicos anima a un público predecible a creer que el cambio en el nivel del mar que se pronostica es moderado, y de hecho es menor que en los informes anteriores del IPCC. Ha habido numerosos informes mediáticos con predicciones "reducidas" del aumento del nivel del mar, y los comentaristas han negado las sugerencias de que las emisiones "business-as-usual" puedan causar una elevación del nivel del mar medida en metros. Sin embargo, si estas cifras del IPCC se utilizan como predicciones de la subida actual del nivel del mar, como lo ha hecho el público, implican que las placas de hielo sobrevivirán milagrosamente a la fuerza climática del "business-as-usual", durante un milenio o incluso durante más tiempo.*

*Hay Glaciólogos que anticipan respuestas de este tipo a largo plazo porque sus modelos de las placas de hielo han sido diseñados para emparejar cambios climáticos pasados. Sin embargo, el trabajo llevado a cabo por mi grupo muestra que la escala típica de 6.000 años para la desintegración del casquete polar en el pasado refleja cambios graduales en la órbita de la Tierra que condujeron a los cambios climáticos que acontecieron, más que cualquier límite inherente sobre el tiempo que tardarán estas placas de hielo para desintegrarse.*

*De hecho, los datos del Paleoclima contienen numerosos ejemplos de las placas de hielo elevando los niveles del mar varios metros cada siglo cuando las circunstancias eran menores que las del escenario "business-as-usual". Por ejemplo, hace unos 14.000 años, el nivel del mar subió aproximadamente 20 metros en 400 años, o sobre 1 metro cada 20 años.*

*Cada vez hay más pruebas de que el calentamiento global que ya está teniendo lugar podría ocasionar un rápido aumento del nivel del mar similar. El proceso comienza con los gases de efecto invernadero creados por el hombre, que hacen que la atmósfera sea más opaca a la radiación infrarroja, por lo tanto, disminuyendo la radiación de calor al espacio. Como resultado, la Tierra adquiere mayor calor del que está perdiendo: actualmente 0.5 a 1 vatios por metro cuadrado. Este desequilibrio energético planetario es suficiente para deshelar el hielo correspondiente a un aumento del nivel del mar de hasta 1 metro por década, si la energía extra se utilizara con ese propósito – el desequilibrio energético podría doblarse si las emisiones continúan aumentando.*

*Entonces, ¿a dónde va esa energía extra? Una pequeña parte de ello es el recalentamiento de la atmósfera y,*

por lo tanto, contribuye a una de las reacciones de las placas de hielo: el deslizamiento “albedo” que sucede cuando la nieve y el hielo empiezan a derretirse. El hielo cubierto por la nieve refleja al espacio la mayor parte de la luz solar que recibe, pero mientras que el recalentamiento del aire provoca el deshielo de la superficie, el hielo más oscuro absorbe mucha más energía solar. Esto aumenta el desequilibrio energético planetario y puede conllevar un deshielo aún mayor. La mayor parte de esta agua procedente del deshielo penetra por la placa de hielo, lubricando su base y acelerando la descarga de los icebergs al océano.

La zona de Groenlandia que experimenta el deshielo en verano ha aumentado de unos 450.000 kilómetros cuadrados, cuando se empezaron a llevar a cabo observaciones desde el satélite en 1979, a más de 600.000 kilómetros cuadrados en el año 2002. Los sismógrafos de todo el mundo han detectado un incremento en el número de terremotos en Groenlandia cerca de las salidas de las corrientes principales de hielo. Los terremotos indican que hay piezas más grandes de hielo que se están desplazando hacia delante y que se detienen debido a la fricción con el suelo. El número de estos “terremotos de hielo” se ha doblado entre 1993 y finales de los años 90, y desde entonces, se ha vuelto a doblar. Todavía no está claro si el número de terremotos es proporcional a la pérdida de hielo, pero su rápido aumento es preocupante con respecto a la estabilidad a largo plazo de la placa de hielo.

Se prevé un recalentamiento global adicional de entre 2°C y 3°C debido al recalentamiento local de unos 5°C sobre Groenlandia. Esto podría extender el deshielo en verano sobre prácticamente toda la placa de hielo y aumentar considerablemente la temporada de deshielo. En mi opinión, es inconcebible que la placa de hielo pueda soportar tal aumento de deshielo de agua durante mucho más tiempo antes de comenzar a desintegrarse rápidamente, pero es muy difícil predecir cuándo comenzará este período de cambio tan extenso y rápido.

Apenas se le ha prestado atención al deshielo en verano en el Oeste de la Antártica, pero es mucho más importante. La placa de hielo del Oeste de la Antártica, que descansa sobre un lecho de roca muy por debajo del nivel del mar, es mucho más vulnerable a ser atacada desde abajo por el recalentamiento del agua oceánica, así como por encima por el calentamiento de la atmósfera. Las observaciones realizadas desde el satélite revelan que están aumentando las zonas de deshielo en verano en la placa de hielo del Oeste de la Antártica, y también que la temporada de deshielo se ha ampliado (Hansen, 2007c).

Se han reproducido extensamente los argumentos de Hansen porque es uno de los científicos climáticos más eminentes del mundo; ha aportado una crítica aplastante sobre las limitaciones de los modelos presentados por el IPCC; ha hecho posible una nueva comprensión de los mecanismos de una desintegración rápida de las placas; sus puntos de vista están basados en pruebas paleoclimáticas; sus puntos de vista están provocando hoy en día un replanteamiento de los aumentos del nivel del océano entre sus compañeros, científicos climáticos; y su trabajo apenas ha sido rebatido. Quizás incluso más significativo, Hansen, una persona humilde que ha testificado en dos ocasiones ante el Congreso sobre el cambio climático (y ha criticado duramente la Administración de Bush atacando los fondos del Instituto Goddard para la Ciencia Espacial de la NASA porque se negó a detener su compromiso público), ha estacado su formidable reputación profesional a este respecto. Su confianza en sus afirmaciones que le han hecho apostar que su punto de vista es mucho más real que el del IPCC no debería subestimarse, ya que aporta una confianza científica mucho más significativa.

### **Más allá del Ártico**

La pérdida de la placa de hielo del Oeste de la Antártica elevaría los niveles del mar en una cifra similar a la pérdida total de la placa de hielo de Groenlandia. Mientras que se cree que la placa del Oeste de la Antártica es más estable con un aumento de 1-2°C, recientes investigaciones demuestran que la Placa de Hielo del sur reacciona de forma mucho más sensible al recalentamiento de lo que pensaban antes los científicos, basados en los datos del corazón del hielo que mostraban que tuvo que suceder un “deshielo masivo” en la Antártica durante el recalentamiento del Mioceno-Plioceno hace 3 millones de años, cuando la temperatura media global de los océanos aumentó en sólo 2-3°C (Schmitt, 2007). La mayor parte de la placa de hielo del Oeste de la Antártica descansa sobre un lecho de rocas bajo el nivel del mar, por lo tanto, si las placas de hielo que hacen de contrafuerte en el hielo se desintegran, el agua del mar alcanzará la base de las placas de hielo acelerando el ritmo de su desintegración: “Vemos la amenaza más grave en la posibilidad de deshielo de la superficie en el Oeste de la Antártica, y la interacción entre las reacciones que provocan una pérdida de hielo catastrófica. El recalentamiento en el Oeste de la Antártica durante las últimas décadas ha estado limitado por los efectos de la reducción del ozono estratosférico. Sin embargo, las proyecciones climáticas encuentran un recalentamiento del océano cercano a profundidades que podrían atacar la placa de hielo que sirve de contrafuerte, así como el recalentamiento de la superficie en la región del Oeste de la Antártica. La pérdida de las placas de hielo facilita una descarga más rápida de las corrientes de hielo, a cambio una reducción y recalentamiento del hielo de la superficie, y un aumento del deshielo en la superficie. La elevación del nivel del mar ayuda a deshelar zonas de hielo más altas. Con el incremento de los gases de efecto invernadero (GHGs), el desequilibrio de la energía

planetaria aporta una energía muy amplia para deshelar el hielo correspondiente a varios metros de elevación del mar por siglo..." (Hansen, Sato et. Al, 2007).

Pero mucho antes de que se desintegren totalmente las placas de hielo de Groenlandia o del Oeste de la Antártica, incluso una pérdida del 20 por ciento del volumen de hielo de Groenlandia sería una catástrofe. Nicholas Stern informó que "en la actualidad, más de 200 millones de personas viven en planicies costeras inundables a lo largo de todo el mundo, con 2 millones de kilómetros cuadrados de tierra y con posesiones que tienen un valor de 1 trillón de dólares, a tan sólo 1 metro por encima del nivel del mar actual. Un cuarto de la población de Bangladesh (~35 millones de personas) vive en planicies costeras inundables. Muchas de las ciudades más importantes del mundo (22 de las 50 más destacables) se encuentran amenazadas por inundaciones causadas por oleadas costeras, incluidas Tokio, Shanghai, Hong Kong, Mumbai, Calcuta, Karachi, Buenos Aires, San Petersburgo, Nuevo York, Miami y Londres. En la mayoría de los casos, las ciudades dependen de costosas defensas para inundaciones como protección. Incluso si están protegidas, estas ciudades quedarían por debajo del nivel del mar con un riesgo de inundación residual parecido al que tuvo lugar en Nueva Orleans. Es probable que las casas de millones de personas más se vean afectadas por las inundaciones causadas por las oleadas costeras provocadas por la elevación de los niveles del mar. Son más vulnerables las personas que se encuentran en el Sur y en el Este de Asia, así como los que viven en la costa de África y en las islas pequeñas" (Stern, 2006b). Una elevación de 5 metros afectaría a 669 millones de personas y se perderían 2 millones de kilómetros cuadrados de terreno (Kahn, 2007).

El agua subterránea es la reserva más extensa de agua dulce del planeta y más de 2 billones de personas dependen de ella. Mucho antes de que la elevación de los mares inunde la tierra, los acuíferos se verán contaminados. En la Conferencia de 2006, llevada a cabo por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos, se explicó que la elevación de los niveles del mar también provocaría la inundación con sal del agua de los acuíferos utilizados por ciudades como Shanghai, Manila, Yakarta, Bangkok, Kolkata, Mumbai, Karachi, Lagos, Buenos Aires y Lima. "El suministro de agua de docenas de ciudades importantes a lo largo del mundo se encuentra en riesgo por un aspecto del calentamiento global que habíamos ignorado hasta el momento. Dentro de las próximas décadas, la elevación de los niveles del mar contaminará las reservas subterráneas de agua con sal... Mucho antes de que las mareas crecientes inunden las ciudades costeras, el agua salada invadirá las rocas porosas que mantienen el agua potable... El problema surgirá por el hundimiento de las capas freáticas debido a un bajo nivel de pluviosidad, también provocado por el cambio climático, y por el uso cada vez mayor de agua, resultado de un mundo en crecimiento y de una creciente población urbanizable" (Pearce, 2006a).

Mientras que las elevadas cifras con respecto a las subidas del nivel del mar pueden parecer abstractas, un aumento de un metro tendrá un impacto devastador en los deltas de los ríos densamente poblados de los países en vías de desarrollo, las casas y los terrenos cultivables se perderán y se verán dañados por las subidas provocadas por las oleadas tormentosas. En las regiones industrializadas, los impactos serán graves en las infraestructuras costeras provocados por subidas leves: pérdida de playas, puertos y de infraestructura de pesca, inundaciones de carreteras de transporte y de conexión, y la inundación de servicios civiles subterráneos, incluidas las redes de alcantarillado, agua, transmisión de electricidad y comunicaciones, así como pérdidas de edificios industriales y domésticos.

Utilizando, durante media hora, el Google Earth, añadiendo un aumento del nivel del mar (por ejemplo en, <http://flood.firetree.net/>), se sugiere que la lección del verano del Ártico de 2007 es que reconocemos que ahora nos hallamos ante una emergencia del calentamiento global, lo que requiere un plan de emergencia mucho más allá de las políticas de siempre (politics-as-usual) y de los negocios de siempre (business-as-usual).

### **Sensibilidad climática y las reacciones ausentes**

"El cambio climático está... sucediendo más rápido de lo que predijeron los modelos climáticos". -  
Barrie Pittock, científico climático del CSIRO (Peddie, 2007).

La sensibilidad climática se refiere al aumento esperado de la temperatura global asociada con el doble de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (procedentes del nivel preindustrial de 280 ppm a 560 ppm CO<sub>2</sub>/e). La investigación de la sensibilidad climática ha producido resultados completamente divergentes, en concreto anteriormente, pero es vista ahora extensamente como estando alrededor de los 3°C, conocida como "Charney 3°C" en base a su defensor, hace treinta años. El informe del IPCC utiliza modelos del Equilibrio de la Sensibilidad del Clima (ECS) para concluir que es "probable estar en una media de 2 a 4.5°C con un mejor cálculo de unos 3°C, y que es muy improbable que sea menor de 1.5°C. No se pueden excluir valores sustancialmente más altos que 4.5°C (se añade énfasis), pero el acuerdo de los modelos con observaciones no es tan bueno para estos valores" (IPCC, 2007b:12).

Sin embargo, los investigadores han hallado variedades posibles mucho más amplias, por ejemplo de 1-10°C y

de  $-1.4-7.7^{\circ}\text{C}$ , y se ha sugerido que hay un 54% de probabilidades de que la sensibilidad del clima se sitúe fuera de las variedades planteadas por el IPCC (Andronova y Schlesinger, 2001). Más recientemente, dos investigadores hallaron que no podían “asignar una probabilidad significativa a la sensibilidad del clima excediendo los  $6^{\circ}\text{C}$ ” (Annan y Hargreaves, 2006) que ahora se ve ampliamente como el límite superior probable.

Pero una sensibilidad climática de  $6^{\circ}\text{C}$ , si se alcanza, pondría la política del cambio climático patas arriba. Cuanto mayor sea la sensibilidad, más bajo será el abanico permisible de emisiones totales para alcanzar la temperatura propuesta. Con una sensibilidad de  $3^{\circ}\text{C}$ , los niveles de gases de efecto invernadero deben estabilizarse a unos 450 ppm CO<sub>2</sub>e para conseguir una probabilidad 50:50 de no superar los  $2^{\circ}\text{C}$ ; si esta sensibilidad se establece en  $6^{\circ}\text{C}$ , el nivel de estabilización estaría sobre los 350 ppm CO<sub>2</sub>e para conseguir esa misma meta, lo que implicaría que habríamos superado ampliamente el umbral de la peligrosa interferencia antropogénica del clima.

Investigaciones y datos recientes indican que  $3^{\circ}\text{C}$  podría ser una cifra demasiado baja. El científico climático del CSIRO, Barrie Pittock, sugiere que en 2006 “el IPCC podría haber subestimado el límite superior de posibilidades” y hay “una probabilidad mayor de que los calentamientos para el 2100 excedan el nivel medio (de sensibilidad climática) calculado en  $3^{\circ}\text{C}$ ”. Pittock ha verificado datos recientes que “sugieren que los niveles críticos de calentamiento global podrían tener lugar incluso con concentraciones y/o emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero menores de lo que se consideró justificado en el informe del IPCC (2001)”. Ha trabajado en “al menos ocho desarrollos recientes, ampliamente basados en cambios observados, que indican una probabilidad mayor de más impactos graves”, incluyendo la disminución de la iluminación global, la fundición del permafrost, las reacciones de biomasa, el retroceso del hielo del mar Ártico, el cambio de los patrones de circulación desde latitudes medias a altas, los rápidos cambios en Groenlandia y en la Antártica, el creciente aumento de la intensidad de los ciclones tropicales, y el descenso de la Corriente del Golfo (Pittock, 2006).

La cuestión, con la variedad establecida de sensibilidad del clima, es que sólo tiene en cuenta las reacciones “rápidas”: “La sensibilidad climática es la respuesta a una fuerza específica, después de que el clima haya tenido tiempo para alcanzar un nuevo equilibrio, incluyendo los efectos de reacciones rápidas “que” tienen lugar rápidamente conforme cambian las temperaturas. Por ejemplo, el aire alberga más vapor de agua conforme aumentan las temperaturas, que es una reacción que amplía la respuesta del clima, porque el vapor de agua es un gas de efecto invernadero. Otra reacción rápida incluye los cambios en las nubes, la cubierta de nieve y el hielo del mar” (Hansen, 2003).

El problema es que los modelos del ECS omiten las reacciones “lentas”, tales como el aumento y decaimiento de la placa de hielo, la fundición del permafrost y la liberación de metano, y las reacciones del ciclo del carbono, que amplían los cambios climáticos en escalas de tiempo de décadas a siglos. Los datos del Paleoclima identifican el impacto de estas reacciones lentas que faltan en empujar la subida de las temperaturas más allá de lo previsto: en el Ártico, hace 55 millones de años, las temperaturas eran  $11^{\circ}\text{C}$  más altas de lo que pronosticarían los modelos del ECS, sugiriendo “otro mecanismo de reacción” en marcha (Sluijs, Schouten et al, 2006); un estudio de 2006 del clima de la Edad Media halló que el efecto de amplificar las reacciones en el sistema climático “promocionará el calentamiento de un 15% a un 78 % más en una escala de un siglo” comparado con los cálculos típicos del modelo del IPCC (Scheffer, Brovkin, et al., 2006).

El fracaso de los modelos del IPCC de incluir las reacciones lentas en la sensibilidad climática ha sido explicado por Hansen y Sato (2007b), que argumentan que el “Charney  $3^{\circ}\text{C}$ ” es razonable a corto plazo, pero que también hay una sensibilidad climática a “largo plazo” “si se permite que funcionen estas reacciones lentas” que Hansen y Sato calculan a partir de los datos del Paleoclima que será de “unos  $6^{\circ}\text{C}$  por un CO<sub>2</sub> doble”. Entonces se plantean la siguiente pregunta: “¿Qué sensibilidad climática es más relevante para la humanidad: el Charney  $3^{\circ}\text{C}$  por un valor de CO<sub>2</sub> doblado o el “ $6^{\circ}\text{C}$  a largo plazo por un valor de CO<sub>2</sub> doblado?” y responden “ambas”. En una escala de tiempo de las últimas tres décadas “la sensibilidad de Charney es una acertada aproximación, ya que por una contribución escasa se podría esperar una reacción lenta. Por lo tanto, los modelos climáticos con una sensibilidad de  $3^{\circ}\text{C}$  por un valor de CO<sub>2</sub> doblado, incorporando sólo las reacciones rápidas, pueden lograr un buen acuerdo con el calentamiento observado durante el siglo pasado. Sin embargo, destacamos que estos modelos sólo proporcionan un límite más bajo del recalentamiento esperado durante un siglo, debido a las fuerzas asumidas. El mundo real se apuntará a una carrera más larga en cuanto al recalentamiento correspondiente a la sensibilidad climática más alta (de  $6^{\circ}\text{C}$ )”. Y concluyeron que “En otra parte hemos descrito las pruebas de que las reacciones más lentas, tales como la extensión de los bosques, el oscurecimiento y retroceso de los casquetes polares, y la liberación del metano al derretirse la tundra, probablemente serán significativas en una escala de una década a un siglo. Esta realización aumenta la urgencia de calcular el nivel de cambio climático que tendría consecuencias peligrosas para la humanidad y para otras criaturas del planeta, y la urgencia de definir un camino realista que pueda evitar estas peligrosas consecuencias” (Hansen y Sato, 2007b).

Este descubrimiento ha tenido implicaciones enormes: como mencionado más arriba, una sensibilidad climática de 6°C significa que hemos superado el ampliamente aceptado umbral de 2°C de la peligrosa interferencia antropogénica con el clima (alrededor de 350 ppm CO<sub>2</sub>e) hace unas décadas, y por lo tanto, requiere que tengamos que encontrar los medios para conseguir una rápida reducción de los gases atmosféricos de efecto invernadero.

La pregunta clave es si han empezado a generarse las reacciones lentas. En el caso de las placas de hielo de Groenlandia y de la Antártica, los datos son bastante preocupantes. Otras reacciones lentas a tener en cuenta incluyen la inversión del ciclo del carbono, al absorber menos CO<sub>2</sub> los océanos y la tierra, y la significativa liberación de metano del permafrost.

**Reacción del ciclo del carbono:** se prevé que se produzca una capacidad fallida de los depósitos de carbono de la tierra debido tanto por la actividad humana como por la consecuencia de las temperaturas más altas (Jones 2003). La fracción de emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénicas totales que permanece en la atmósfera ha aumentando lentamente con el tiempo, implicando un debilitamiento leve de los depósitos con relación a las emisiones (Raupach, Marland et al., 2007). Un estudio a tener en cuenta en el año 2000 halló que aproximadamente la mitad de las emisiones actuales están siendo absorbidas por el océano y por los ecosistemas de tierra, pero esta absorción es sensible al clima, así como a las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosféricas, que crean un bucle de realimentación tal que, bajo el escenario de “business-as-usual”, la biosfera terrestre actúa como un depósito de carbono total hasta aproximadamente el 2050, y después se convierte en una fuente cuando el depósito falle. Esta es una reacción “lenta” que aumentará la temperatura 1.5°C para el 2100 (Cox et al., 2000).

**Reacción del ciclo de carbono oceánico:** hay nuevas evidencias de la saturación del depósito de CO<sub>2</sub> del Océano Sur debido al cambio climático reciente (Le Quéré, Rodenbeck et al, 2007). La autora de prestigio, la doctora Corinne Le Quéré dice: “Esta es la primera vez que hemos podido afirmar que el cambio climático por sí solo es responsable de la saturación del depósito del Océano Sur. Esto es grave. Todos los modelos climáticos predicen que esta “reacción” continuará y se intensificará en este siglo. Los depósitos de carbono de la Tierra – de los que el Océano Sur mantiene el 15 por ciento – absorben la mitad de todas las emisiones de carbono del hombre. Alcanzando el Océano Sur su saturación, permanecerá más CO<sub>2</sub> en nuestra atmósfera” (NIWA, 2007). Así mismo, los datos del satélite obtenidos durante los últimos 10 años muestran que el crecimiento del fitoplancton marino, la base de la cadena alimenticia de todo el océano, está viéndose afectado negativamente por las crecientes temperaturas de los océanos (Behrenfeld, Worthington, et al., 2007). El fitoplancton, las plantas microscópicas que cubren el fondo de los océanos, son la base de toda la cadena alimenticia, y absorben hasta 50 billones de dióxido de carbono al año de la atmósfera de la Tierra, casi la misma cantidad que las plantas de la superficie terrestre. La vida marina también se verá debilitada por la acidificación de los océanos. Si las emisiones continúan como ahora (business-as-usual), los niveles de CO<sub>2</sub> en los océanos aumentarán hasta un punto en el que, para el 2050, la acidificación oceánica habrá alcanzado un nivel calificado como de deshecho industrial por los niveles de calidad del agua de los Estados Unidos (Caldeira, Archer et al, 2007) y, de no disminuir, “tiene el potencial de causar la extinción de la mayoría de las especies marinas... Lo que hagamos durante la próxima década, afectará a nuestros océanos durante millones de años... Los niveles de CO<sub>2</sub> subirán de forma extremadamente rápida, y está aplastando nuestros sistemas marinos” (Eilperin, 2006; NASA, 2006c).

**Reacción del ciclo del carbono del suelo:** en nuestra historia, la tierra y los océanos han contribuido de forma equitativa a la absorción atmosférica del dióxido de carbono. La tierra también libera carbono durante la descomposición de las plantas y las materias orgánicas. El profesor Guy Kirk, del Instituto Nacional de Recursos del Suelo en la Universidad de Cranfield, ha calculado que el aumento de carbono perdido por el suelo del Reino Unido cada año desde 1978 de 13 millones de dióxido de carbono al año es mayor que los 12.7 millones de toneladas al año que el Reino Unido ahorra limpiando sus emisiones industriales como parte de su acuerdo de Kyoto. Es probable que la pérdida sea debida a que la descomposición de las plantas y del material orgánico sucede a un ritmo mayor debido al aumento de las temperaturas. Se predice que el depósito del suelo emitirá su carbono incluso a un ritmo mayor, conforme aumentan las temperaturas: “es una reacción normal”, explica Kirk, “cuanto más se calienta, más rápido sucede” (Pickrell, 2005; Connor y McCarthy, 2006). Se cree que con 2-3°C, comenzará la conversión de depósito de carbono terrestre a una fuente de carbono, debido al suelo realzado por la temperatura y la respiración de las plantas que vence la fotosíntesis de CO<sub>2</sub> realizada, provocando una desertificación extensa y una reacción mayor (Sarmiento y Gruber 2003). Investigadores de la Universidad de Bristol discuten que no se explicó anteriormente el aumento de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera en los últimos años porque hay una liberación mayor de gases de efecto invernadero de los árboles, las plantas y el suelo. El calentamiento global está provocando que la vegetación sea menos capaz de absorber la contaminación de carbono que emite la actividad humana (Knorr, 2007). Knorr piensa “Podríamos ver la reacción del ciclo de carbono, lo que es una buena noticia para los científicos porque demuestra que nuestros modelos son correctos, pero es una mala noticia para todos los demás.”

**Permagel:** conforme se recalienta el Ártico, el permagel de los bosques boreales y de más al norte en la tundra del Ártico, está empezando a derretirse, provocando la liberación de metano, un gas de efecto invernadero veinticinco veces más poderoso que el CO<sub>2</sub>, de las gruesas capas de la congelada turba. Con menos de un grado de calentamiento, el suelo congelado del Ártico de hace 3000 años se está deshelando, produciendo “termo-escarcha” (la superficie que se forma cuando se derrite una superficie rica en hielo) y que puede afectar potencialmente el 10-30% del paisaje de los bajos del Ártico y alterar gravemente los ecosistemas de tundra, incluso durante escenarios de un calentamiento climático moderado (Jorgenson, Sur et al., 2006). Conforme se derrite el permagel y se forman lagos, los microbios convierten el material orgánico del suelo en metano, que emana hacia el agua de la superficie y se libera a la atmósfera; donde el permagel decae en un proceso de secado, y libera CO<sub>2</sub>. En un estudio reciente se determinó que el deshielo de Siberia es significativo, subestimando la fuente de metano atmosférico. Aumentando el número de lagos en la región, así como su extensión, las emisiones son cinco veces mayores de lo pronosticado, el deshielo del permagel ahora es otra reacción, lenta, del calentamiento climático (Walter, Zimov et al, 2006).

Este dato sugiere que las reacciones “lentas” están afectando ahora al sistema climático, con implicaciones profundas para la sensibilidad climática y las metas “seguras”.

### Velocidad de impacto e incertidumbre

“A los gobiernos no les gusta los números, así que los números fueron borrados” – Profesor Martin Parry del Grupo de Trabajo del Resumen para Políticos II del IPCC (Adam, 2007b)

Los datos mencionados arriba sugieren que los impactos del cambio climático están sucediendo con un aumento de la temperatura menor y más rápidamente de lo que se pensaba anteriormente.

Al hablar en la publicación del informe completo del IPCC de 2007 sobre los impactos del cambio climático, el codirector del Grupo de Trabajo II, el profesor Martin Parry, le dijo a su audiencia que: “Todos estamos acostumbrados a hablar sobre estos impactos que están por llegar durante las vidas de nuestros hijos y nietos. Ahora sabemos que tendrán lugar en el transcurso de nuestra propia vida”. Dijo que ahora se predecían cambios destructivos en la temperatura, pluviosidad y agricultura varias décadas antes de lo que se pensó anteriormente (Adam, 2007b).

La velocidad del cambio puede, por sí mismo, empeorar los impactos. Leemans y Eickout (2004) descubrieron que la capacidad de adaptación de las especies disminuye con un ritmo de cambio climático en aumento: el cinco por ciento de todos los ecosistemas no pueden adaptarse a una velocidad mayor que un 0.1°C por década. Los bosques se encuentran entre los ecosistemas que experimentarán primero los problemas por su incapacidad de emigrar y debido a su permanencia dentro de la zona climática en la que están adaptados, que es limitada. Si el ritmo es de 0.3°C por década, el 15 por ciento de los ecosistemas no podrán adaptarse. Si el ritmo supera los 0.4°C por década, todos los ecosistemas se destruirán rápidamente, las especies más oportunistas serán las que dominan, y la disminución de material biológico provocará unas emisiones de CO<sub>2</sub> incluso mayores. Esto a su vez aumentará el ritmo de recalentamiento (Kallbekken y Fuglestedt, 2007). Las temperaturas están aumentando ahora a un ritmo de más de 0.2°C por década, con algunos escenarios del IPCC mostrando un aceleramiento de 0.4°C por década para mediados de siglo, a lo que sólo algunas especies se podrán adaptar. Otro estudio del informe del IPCC con escenarios de emisiones bajas y altas, determinó que entre el 12-39% y el 10-48% de la superficie terrestre de la Tierra, podría –respectivamente– experimentar climas nuevos y climas que desaparecen para el año 2100 AD (Williams, Jackson et al, 2007).

La velocidad del cambio y la incertidumbre nos hacen considerar los resultados más nefastos, no sólo los escenarios considerados como los más probables en la actualidad. Pittock (2006) discute de forma persuasiva que “Las incertidumbres en la ciencia del cambio climático son inevitables, debido por ambos la falta de comprensión científica y las incertidumbres o comportamientos humanos. Por ello, las políticas deben basarse en el manejo del riesgo, es decir, en considerar la probabilidad de la magnitud de cualquier resultado en los diferentes escenarios de comportamiento humano. Para manejar el riesgo de forma responsable es preciso que los científicos describan y adviertan sobre las posibilidades extremas o alarmantes, bajo cualquier escenario de comportamiento humano (como las emisiones de gases de efecto invernadero), incluso si parece que la probabilidad de que sucedan sea mínima. Esta es una técnica común en la planificación militar y es algo habitual en los seguros. El propósito de este asesoramiento de relevancia política debe ser el evitar los resultados inaceptables, no el de determinar (sólo) los resultados más probables (aparentemente)”.

Es algo que no se ha hecho siempre, dejando la ciencia en asuntos cruciales en pañales como si estuviera anticuada. Hansen menciona “Durante la última década o más, como parece que el cambio climático está en marcha en el Ártico, la pregunta planteada más veces es: “¿el cambio en el Ártico es el resultado de las fuerzas climáticas provocadas por el hombre? La respuesta científica era, si podemos transcribirla, “no estamos

seguros, no estamos seguros, no estamos seguros... Bueno, pues hay un cambio climático provocado por los humanos, y es demasiado tarde para prevenir la pérdida de todo el hielo del mar". Si esto es lo mejor que podemos hacer como comunidad científica, entonces será mejor que nos dediquemos a plantar patatas o a hacer cualquier otra cosa" (Hansen y Sato, 2007b).

Pittcock (2007) ha descrito bastante bien las limitaciones del proceso del IPCC: "Los intereses concebidos abrigados por los países muy dependientes de los combustibles fósiles para la industria y el desarrollo, o para la exportación, han presionado para retirar los cálculos más negativos, los científicos... tienden a concentrarse en los "mejores cálculos", que ellos consideran más probables, en lugar de en los casos peores que podrían ser graves, pero que sólo tienen una pequeña probabilidad de suceder; muchos científicos prefieren concentrarse en resultados numéricos para sus modelos, y no se sienten a gusto con cálculos basados en mecanismos conocidos pero sin cuantificar en la actualidad; y debido al largo proceso (cuatro años) de debates, redacciones y revisiones del gobierno, las publicaciones reciben una fecha límite temprana (a menudo un año antes de que aparezca el informe).

## Conclusión

Los datos contemplados sugieren que en muchos temas, el proceso del IPCC ha sido tan deficiente como para no ser fiable y, de hecho, ser una base engañosa para las políticas (redacción de normas). Una revisión independiente y de autor puede establecer una base científica relevante y actual que integre los datos y descubrimientos recientes, las afirmaciones de los expertos y la necesidad en los momentos de incertidumbre de contar totalmente con los resultados más inaceptables pero científicamente viables. En base a ello, podemos establecer estrategias que puedan al menos darnos una oportunidad real para evitar los grandes peligros que se manifiestan en el sistema climático, del que nosotros los humanos nos hemos hecho los amos y además, sus más que probables víctimas.

Las asunciones primarias en las que se basa la política climática deben ser revisadas. Tomemos sólo un ejemplo: el principio más fundamental y extensamente apoyado – de que 2°C representan una meta máxima razonable si queremos evitar el peligroso cambio climático – ya no se puede seguir defendiendo. Hoy, con un aumento menor de 1°C, la capa de hielo del Ártico está encaminada a una extremadamente rápida desintegración, que es altamente probable que ocasione la pérdida irreversible de la placa de hielo de Groenlandia y catastróficos incrementos del nivel del mar. Muchas especies se encuentran en el precipicio, la sequía inducida por el cambio climático y los cambiantes patrones del monzón están azotando cada continente, los depósitos de carbono están perdiendo su capacidad y los océanos se están acidificando.

Si pudiéramos empezar de nuevo desde el principio, seguramente ¿diríamos que debemos estabilizar el clima en una temperatura en equilibrio que asegure una continuidad estable del hielo del mar del Ártico? Dando por hecho que hace mucho tiempo que superamos este nivel seguro, en cuanto fuimos conscientes de que había un problema con el clima, deberíamos habernos puesto manos a la obra para conseguir un nivel atmosférico de CO<sub>2</sub> que pudiese restaurar y mantener la capa de hielo del Ártico, con un margen seguro para la incertidumbre y el error. El Ártico empezó a perder volumen hace 20 años, cuando la temperatura global se situaba en unos 0.5°C sobre el nivel preindustrial. Por lo tanto, ahora sabemos que para proteger el Ártico, la subida de la temperatura media global debe permanecer por debajo de 0.5°C.

El límite de 2°C de recalentamiento siempre fue un compromiso político, pero con la velocidad del cambio que está teniendo lugar ahora en el sistema climático y las reacciones que causarán los 2°C, es la sentencia de muerte de quizás billones de personas y millones de especies.

Si, por ejemplo, en lugar de eso, aplicáramos como medida de precaución de recalentamiento 0.5°C (o menos), podría ser que fuera necesario que la meta de los gases de efecto invernadero atmosférico en equilibrio no excediese aproximadamente los 320 ppm CO<sub>2e</sub>, un nivel que ya superamos hace medio siglo.

Lo que nos queda es bien simple, tenemos que descarbonizar rápidamente la económica mundial y poner los medios para reducir el exceso de los niveles de CO<sub>2</sub>. Tenemos que elegir metas y tomar medidas que puedan resolver el problema a tiempo. Es demasiado tarde para no ser honestos con nosotros mismos y con nuestros conciudadanos.

6 de octubre de 2007

[www.carbonoequity.info/PDFs/arctic.pdf](http://www.carbonoequity.info/PDFs/arctic.pdf)

## Bibliografía

- Adam, D. (2007a) "Loss of Arctic ice leaves experts stunned", (La pérdida de hielo del Ártico deja a los

- expertos asombrados) The Guardian, 4 de septiembre de 2007, <http://www.guardian.co.uk/environment/2007/sep/04/climatechange>
- Adam, D. (2007b) "How climate change will affect the world", (Cómo el cambio climático afectará al mundo) The Guardian, 19 de septiembre de 2007, <http://www.guardian.co.uk/environment/2007/sep/19/climatechange>
  - Adam, D. (2007c), "Surge in carbono levels raises fears of runaway warming", (El aumento de los niveles de carbono incrementa el temor de un acelerado recalentamiento) The Guardian, 19 de enero de 2007, <http://environment.guardian.co.uk/climatechange/story/0,,1994071,00.html>
  - Alley, R. (2007) "Testimony before Committee on Science, US House of Representatives", (Testimonio ante el Comité de Ciencias, de la Casa de los Representantes de los Estados Unidos) 8 de febrero de 2007
  - Amos, J. (2006) "Arctic sea ice 'faces rapid melt'", (El hielo del mar Ártico se enfrenta a un rápido deshielo) BBC News, 12 de diciembre de 2006, <http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/1/hi/sci/tech/6171053.stm>
  - Amos, J. (2007) "Deep ice tells long climate story", (El hielo del fondo cuenta una larga historia climática) BBC News, 4 de septiembre de 2006, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/5314592.stm>
  - Andronova, N. and M. E. Schlesinger (2001) "Objective Estimation of the Probability Distribution for Climate Sensitivity", (Cálculo objetivo de la Probabilidad de Distribución de la Sensibilidad Climática) Journal of Geophysical Research 106: 22605, <http://adsabs.harvard.edu/abs/2001JGR...10622605A>
  - Annan, J. D. and J. C. Hargreaves (2006) "Using multiple observationally-based constraints to estimate climate sensitivity", (Utilización de coacciones de observaciones para calcular la sensibilidad climática) Geophysical Research Letters 33:L06704, 18 de marzo de 2006, doi:10.1029/2005GL025259
  - Behrenfeld, M. J., K. Worthington, et al. (2007) "Controls on tropical Pacific Ocean productivity revealed through nutrient stress diagnostics", (Controles sobre la productividad del Océano Pacífico revelados a través del diagnóstico de los nutrientes) Tropical Nature 442:1025-1028, 31 de agosto de 2006, doi:10.1038/nature05083
  - Blakemore, B. and C. Sandell (2006), "An Ice-Free Arctic Happening Before Our Eyes", (Un Ártico libre de hielo está sucediendo ante Sus Ojos) ABC News, 9 de junio de 2007, <http://abclocal.go.com/kgo/story?section=bizarre&id=4534375>
  - Brahic, C. (2007a) "Sea level rise outpacing key predictions", (La elevación del nivel del mar excede todos los pronósticos) New scientist news service, 1 de febrero de 2007, <http://environment.newscientist.com/article/dn11083>
  - Brahic, C. (2007b), "US temperatures 'could rise 10 degrees' by 2080", (La temperatura de los Estados Unidos podría aumentar 10 grados de aquí al 2080) New Scientist, 10 de mayo de 2007, <http://environment.newscientist.com/channel/earth/dn11824-us-temperatures-could-rise-10-degrees-by-2080.html>
  - Brahi, C. (2007c) "US set to violate its standards on CO2 emissions", (Los Estados Unidos están dispuestos a violar sus niveles de emisiones de CO2 estándar) New Scientist, 24 de septiembre de 2007, <http://environment.newscientist.com/article.ns?id=dn12681>
  - Brown, P. (2007) "Scientists fear ice caps melting faster than predicted", (Los científicos temen que las placas de hielo se estén desheliendo a un ritmo mayor del pronosticado) The Guardian, 7 de septiembre de 2007, <http://www.guardian.co.uk/international/story/0,,2164776,00.html>
  - Bjornes, C. (2007) "International polar day", (Día Internacional de los Polos) Cicero, 17 de septiembre de 2007, [http://www.cicero.uio.no/webnews/index\\_e.aspx?id=10868](http://www.cicero.uio.no/webnews/index_e.aspx?id=10868)
  - Caldeira, K., D. Archer, et al. (2007) "Comment on 'Modern-age buildup of CO2 and its effects on seawater acidity and salinity' (Comentario sobre la moderna acumulación de CO2 y sus efectos en la acidez y salinidad del agua del mar) por Hugo A. Loáiciga", Geophysical Research Letters 38:L18608), 25 de septiembre de 2007, doi:10.1029/2006GL027288
  - Chandler, D. (2006) "Shorelines may be in greater peril than thought", (Las costas podrían estar en mayor peligro del que se pensaba) New Scientist, 14 de diciembre de 2006, <http://environment.newscientist.com/article/dn10799>
  - Chylek, P. and U. Lohmann (2005) "Ratio of the Greenland to global temperature change: Comparison of observations and climate modeling results", (Diferencias entre el cambio de temperatura de Groenlandia y el resto del mundo: comparación de las observaciones y de los resultados de los modelos climáticos), Geophysical Research Letters 32: L14705, 21 de julio de 2005, doi:10.1029/2005GL023552
  - Colebatch, T. (2006) "The European solution", (La solución Europea) The Age, 24 de octubre de 2006, <http://www.theage.com.au/news/tim-colebatch/the-european-solution/2006/10/23/1161455660470.html>
  - Connor, S. and M. McCarthy (2006) "Our worst fears are exceeded by reality", (Nuestras peores pesadillas son superadas por la realidad) The Independent, 29 de diciembre de 2006, [http://environment.independent.co.uk/climate\\_change/article2110651.ece](http://environment.independent.co.uk/climate_change/article2110651.ece)
  - Connor, S. (2007a) "If we fail to act, we will end up with a different planet", (Si fallamos en nuestra actuación, terminaremos con un planeta bastante diferente) The Independent, 1 de enero de 2007, [http://environment.independent.co.uk/climate\\_change/article2116874.ece](http://environment.independent.co.uk/climate_change/article2116874.ece)

- Connor, S. (2007b) "Scientists warn Arctic sea ice is melting at its fastest rate since records began", (Los científicos advierten que el hielo del mar del Ártico se deshiela a su ritmo más rápido desde que empezaron las mediciones) The Independent, 15 de agosto de 2007, [http://news.independent.co.uk/sci\\_tech/article2864214.ece](http://news.independent.co.uk/sci_tech/article2864214.ece)
- Cox, P. M., R. A. Betts, et al. (2000), "Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model", (La aceleración del calentamiento global debido a las reacciones del ciclo del carbono en un modelo climático) Nature 408(6809): 184-187, 9 de noviembre de 2000
- Doyle, A. (2007) "Arctic thaw may be at 'tipping point'", (El deshielo del Ártico podría estar en un punto sin retorno) Reuters, 28 de septiembre de 2007, <http://www.reuters.com/article/latestCrisis/idUSL28151981>
- Eilperin, J. (2006) "Growing Acidity of Oceans May Kill Corals", (La creciente acidificación de los océanos podría matar los corales) Washington Post, 5 de julio de 2006, [www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2006/07/04/AR2006070400772.html](http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2006/07/04/AR2006070400772.html)
- European-Union (2007) "World Energy technology Outlook 2050", (Tecnología Mundial Energética 2050) Unión Europea. Enero de 2007, <http://ec.europa.eu/research/energy/>
- Furevik, T. (2005) "Feedbacks in the climate system and implications for future climate projections", (Reacciones en el sistema climático e implicaciones para las proyecciones climáticas futuras) Presentation to "Climate, Oceans and Policies", (Presentación de: "Clima, Océanos y Políticas" Washington DC, 1 de noviembre de 2005, <http://www.norway.org/NR/rdonlyres/3F179CEC-67E4-4512-8229-701B48B5E54E/36279/fureviktore1.pdf>
- Flannery, T. (2006) "Climate's last chance", (La última oportunidad del Clima) The Age, 28 de octubre de 2006, [www.theage.com.au/news/opinion/climates-last-chance/2006/10/27/1161749313108.html](http://www.theage.com.au/news/opinion/climates-last-chance/2006/10/27/1161749313108.html)
- Gregory, J. M., P. Huybrechts, et al. (2004) "Climatology: Threatened loss of the Greenland ice-sheet", (Climatología: la amenaza de la pérdida de hielo de Groenlandia) Nature 426(616), 8 de abril de 2004, doi:10.1038/428616a
- Hansen, J. (2003) "Can We Defuse The Global Warming Time Bomb?", (¿Podemos desactivar la bomba del Calentamiento Global?) Natural Science, 1 de agosto de 2003, [http://naturalscience.com/ns/articles/01-16/ns\\_jeh.html](http://naturalscience.com/ns/articles/01-16/ns_jeh.html)
- Hansen, J. (2005) "A slippery slope: How much global warming constitutes 'dangerous anthropogenic interference'? An editorial essay", (Una cuestión resbaladiza: ¿cuánto calentamiento global constituye una interferencia antropogénica peligrosa?) (Un ensayo editorial) Climate Change 68: 269-279, doi:10.1007/s10584-005-4135-0.
- Hansen, J., M. Sato, et al. (2006) "Global temperature change", (Cambio de la Temperatura Global) Proc. Natl. Acad. Sci. 103: 14288-14293, doi:10.1073/pnas.0606291103.
- Hansen, J. (2006a) "The Threat to the Planet: Actions Required to Avert Dangerous Climate Change", (La Amenaza del Planeta: Acciones que se requieren para Evitar el Peligroso Cambio Climático) Presentación en SOLAR 2006 Conferencia sobre las Energías Renovables, Denver, 10 de Julio de 2006, <http://www.columbia.edu/~jeh1/>
- Hansen, J. (2006b) "The Threat to the Planet: How Can We Avoid Dangerous Human-Made Climate Change?", (La Amenaza del Planeta: ¿cómo podemos evitar el peligroso cambio climático causado por el hombre?) Remarks on acceptance of WWF Duke of Edinburgh Conservation Medal at St. James Palace, 21 de noviembre de 2006, <http://www.columbia.edu/~jeh1/>
- Hansen, J., R. Nazarenko, et al. (2006) "Earth's energy imbalance: Confirmation and implications", (El desequilibrio energético de la Tierra: confirmación e implicaciones) Science 308: 1431-1435, doi:10.1126/science.1110252
- Hansen, J. (2007a) "Scientific reticence and sea level rise", (La reticencia científica y el aumento del nivel del mar) Environ. Res. Lett. 2:024002,doi:10.1088/1748-9326/2/2/024002.
- Hansen, J. (2007b) "Interview", (Entrevista) <http://www.grist.org/news/maindish/2007/05/15/hansen/index.html>
- Hansen, J. (2007c) "Huge sea level rises are coming – unless we act now", (Aumentos considerables del nivel de los mares están a punto de materializarse – a menos que actuemos ahora) New Scientist, 28 de julio de 2007, <http://environment.newscientist.com/channel/earth/mg19526141.600-huge-sea-level-rises-are-coming--unless-we-act-now.html>
- Hansen, J., M. Sato, et al. (2007), "Climate change and trace gases", (El cambio climático y los gases) Phil. Trans. Royal Soc. 365: 1925-1954, doi:10.1098/rsta.2007.2052, [http://pubs.giss.nasa.gov/abstracts/2007/Hansen\\_et\\_al\\_2.html](http://pubs.giss.nasa.gov/abstracts/2007/Hansen_et_al_2.html)
- Hansen, J. and M. Sato (2007a) "Dangerous human-made interference with climate: a GISS modelE study", (La peligrosa interferencia hecha por el hombre con el clima: modelo de estudio del GISS) Atmos. Chem. Phys., 7: 2287–2312, 7 de mayo de 2007, [www.atmos-chem-phys.net/7/2287/2007/](http://www.atmos-chem-phys.net/7/2287/2007/)
- Hansen, J. and M. Sato (2007b) "Global Warming: East-West Connections", (Calentamiento global: las Conexiones Este-Oeste) en publicación, septiembre de 2007
- Hilton, E. (2007), "Greenland is now a country fit for broccoli growers", (Groenlandia ahora es un país perfecto para cultivar brócoli) The Guardian, 14 de septiembre de 2007, <http://www.guardian.co.uk/commentisfree/2007/sep/14/comment.climatechange>

- Holland, M., C. Bitz, et al. (2006) "Future abrupt reductions in the summer Arctic sea ice", (Reducciones futuras abruptas en el hielo del mar Ártico en verano) Geophysical Research Letters 33: L23503, 12 de diciembre de 2006, doi:10.1029/2006GL028024
- IEA (2004) "World Energy Outlook 2004", (Energía Mundial 2004) International Energy Agency
- IPCC (2007a) "Global climate projections", (Proyecciones climáticas globales) Climate Change 2007: The Physical Sciences Basis, <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- IPCC (2007b): "Working Group I Report (WGI): Climate Change 2007: The Physical Science Basis", (Informe del Grupo de Trabajo I: Cambio Climático 2007: La Base Físico-Científica) Febrero de 2007, <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/wg1-report.html>
- Innovations Report (2007) "Global economy more carbono intensive, not less", (La economía global mantiene más carbono, no menos) Innovations Report, 22 mayo de 2007, [http://www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt\\_naturschutz/bericht-84664.html](http://www.innovations-report.de/html/berichte/umwelt_naturschutz/bericht-84664.html)
- Jones, C. D., P. M. Cox et al. (2003), "Strong carbono cycle feedbacks in a climate model with interactive CO<sub>2</sub> and sulphate aerosols", (Reacciones importantes en el ciclo del carbono en los modelos climáticos con CO<sub>2</sub> interactivo y aerosoles de sulfato) Geophysical Research Letters 30(9): 1479, 9 mayo de 2003, doi:10.1029/2003GL016867
- Jones, R. N. and B. L. Preston (2006) "Climate change impacts, risk and the benefits of mitigation: A report for the Energy Futures Forum", (Los impactos del cambio climático y los beneficios de la mitigación: un Informe para el Foro de las Energías Futuras) CSIRO Marine and Atmospheric Research, diciembre de 2006, <http://www.csiro.au/resources/pfnq.html>
- Jorgenson, M. T., Y. L. Shur, et al. (2006) "Abrupt increase in permafrost degradation in Arctic Alaska", (Aumento abrupto de la degradación del permagel en el Ártico de Alaska) Geophysical Research Letters 33(2):L02503, 24 de enero de 2006, doi:10.1029/2005GL024960
- Kahn, M. (2007), "Sudden sea level surges threaten 1 billion", (Los aumentos súbitos del nivel del mar amenazan a 1 billón) Reuters, 19 de abril de 2007, <http://uk.reuters.com/article/scienceNews/idUKN1941671620070419>
- Knorr, W., W. Gobron, et al. (2007) "Impact of terrestrial biosphere carbono exchanges on the anomalous CO<sub>2</sub> increase in 2002–2003", (Impacto del carbono terrestre de la biosfera cambia el aumento anómalo de CO<sub>2</sub> en 2002-2003) Geophysical Research Letters 34:L09703, doi:10.1029/2006GL029019
- Leemans, R. and B. Eickhout (2004) "Another reason for concern: regional and global impacts on ecosystems for different levels of climate change", (Otra razón para preocuparse: los impactos regionales y globales en los ecosistemas según los distintos niveles de cambio climático) Global Environmental Change 14: 219–228.
- LeQuere, C., Rodenbeck, et al. (2007) "Saturation of the Southern Ocean CO<sub>2</sub> Sink Due to Recent Climate Change", (Saturación de los depósitos de CO<sub>2</sub> en el Océano Sur debido al Cambio Climático reciente) Science, Publicado en línea el 17 de mayo de 2007, doi:10.1126/science.1136188
- Maslowski, W. (2007), comunicación privada el 2 de octubre de 2007
- McCarthy, M. (2007) "Arctic sea ice melts to its lowest level ever", (El hielo Ártico alcanza su mínimo histórico de deshielo) The Independent, 22 de septiembre de 2007, [environment.independent.co.uk/climate\\_change/article2987778.ece](http://environment.independent.co.uk/climate_change/article2987778.ece)
- Minchin, L. (2007) "Can climate change get worse? It has", (¿Puede el cambio climático ir a peor? Lo ha hecho) The Age, 22 de mayo de 2007, <http://www.theage.com.au/news/national/climate-change-bad-to-worse/2007/05/22/1179601340054.html>
- NASA (2006), "Why Does the Greenland Ice Sheet Matter?", (¿Por qué preocupa la placa de hielo de Groenlandia?) Earth Observatory, accessed 25 de septiembre de 2007, [http://earthobservatory.nasa.gov/Study/Greenland/greenland\\_sidebar.html](http://earthobservatory.nasa.gov/Study/Greenland/greenland_sidebar.html)
- NASA (2006b) "Oceans may soon be more corrosive than when the dinosaurs died", (Los océanos pronto podrían ser más corrosivos que cuando murieron los dinosaurios) Publicación a los medios por parte de la NASA, 20 de febrero de 2006, <http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/MediaAlerts/2006/2006022021812.html>
- NASA (2006c) "Oceans may soon be more corrosive than when the dinosaurs died", (Los océanos pronto podrían ser más corrosivos que cuando murieron los dinosaurios) Publicación de la NASA, 20 de febrero de 2006, <http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/MediaAlerts/2006/2006022021812.html>
- New, M. (2006) "Arctic climate change with a 2°C global warming risk", 2°C is too much: Evidence and Implications of Dangerous Climate Change in the Arctic, (El cambio climático Ártico con 2°C es un riesgo de calentamiento global, 2°C es demasiado: Evidencias e Implicaciones del Peligroso Cambio Climático en el Ártico) [www.wwf.org.uk/filelibrary/pdf/dangerousclimatechange.pdf](http://www.wwf.org.uk/filelibrary/pdf/dangerousclimatechange.pdf)
- New Scientist (2006) "Greenland's water loss has doubled in a decade", (La pérdida de agua de Groenlandia se ha doblado en diez años) New Scientist (2540), 25 de febrero de 2006, <http://environment.newscientist.com/channel/earth/climate-change/mg18925405.200>
- NIWA (2007) "Climate change weakens Southern Ocean carbono sink", (El Cambio climático debilita el depósito de carbono del Océano Sur) Publicación a los medios, 18 de mayo de 2007, <http://www.niwascience.co.nz/news/mr/2007/2007-05-18-1>
- NSIDC (2007) "Arctic Sea Ice News Fall 2007", (Caída del hielo del Mar del Ártico en 2007) National

- Snow and Ice Data Centre, accessed 20 de septiembre de 2007, [http://nsidc.org/news/press/2007\\_seaiceminimum/20070810\\_index.html](http://nsidc.org/news/press/2007_seaiceminimum/20070810_index.html)
- Oppenheimer, M. and R. Alley (2004) "The West Antarctic Ice Sheet and Long-term Climate Policy: An editorial comment", (La placa de hielo del Oeste de la Antártica y la Política Climática a largo plazo: comentario editorial) *Climate Change* 64: 1-10
  - Oppenheimer, M., B. C. O'Neill, et al. (2007) "The Limits of Consensus", (Los límites del Consenso) *Climate Change* 317, 14 de septiembre de 2007, doi:10.1126/science.1144831
  - Pearce, F. (2006a) "Cities may be abandoned as salt water invades", (Las ciudades podrían ser abandonadas conforme la sal empieza a invadirlas) *New Scientist*, 16 de abril de 2006, [www.newscientist.com/channel/earth/mg18624954.600-cities-may-be-abandoned-as-salt-water-invades.html](http://www.newscientist.com/channel/earth/mg18624954.600-cities-may-be-abandoned-as-salt-water-invades.html)
  - Pearce, F. (2006b) "The poor will pay for global warming", (Los pobres pagarán el calentamiento global) *New Scientist* (2577), 11 de noviembre de 2006, <http://environment.newscientist.com/channel/earth/climate-change/mg19225774.600>
  - Peddie, C. (2007) "Hell is about to break loose", (El infierno está a punto de desatarse) *Adelaide Now*, [www.news.com.au/adelaidenow/story/0,22606,22239280-5006301,00.html](http://www.news.com.au/adelaidenow/story/0,22606,22239280-5006301,00.html)
  - Pickrell, J. (2005), "Soil may spoil UK's climate efforts", (La tierra podría estropear los esfuerzos climáticos del Reino Unido) *New Scientist*, 07 de septiembre de 2005, <http://www.newscientist.com/channel/earth/climate-change/dn7964>
  - Pittock, B. (2006) "Are Scientists Underestimating Climate Change?" (¿Los científicos están subestimando el cambio climático?) *Eos* 87(34), 22 de agosto de 2006.
  - Pittock, B. (2007), "Ten Reasons Why Climate Change May be More Severe than Projected", (Diez razones por las que el Cambio Climático podría ser más grave de lo pronosticado) <http://www.green-innovations.asn.au/Risk-could-be-greater-Pittock-April07.doc>
  - Rahmstorf, S., J. Cazenave, et al. (2007) "Recent climate observations compared to projections", (Observaciones climáticas recientes comparadas con los pronósticos) *Science* 316: 709, 4 de mayo de 2007, doi:10.1126/science.1136843
  - Raupach, M., et al. (2007) "Global and regional drivers of accelerating CO2 emissions", (Causas globales y regionales que aceleran las emisiones de CO2) *PNAS*, 10.1073/pnas.0700609104, 22 de mayo de 2007, <http://www.pnas.org/cgi/content/abstract/0700609104v1>
  - Revkin, A. C. (2007) "Retreating Ice: A blue Arctic Ocean in summers by 2013?", (Hielo en retroceso: el Océano Ártico azul en los veranos para el 2013?) *International Herald Tribune*, 1 de octubre de 2007, <http://www.iht.com/articles/2007/10/01/sports/arcticweb.php>
  - Rignot, E. and P. Kanagaratnam (2006) "Changes in the Velocity Structure of the Greenland Ice Sheet", (Cambios en la estructura de la velocidad de la placa de hielo de Groenlandia) *Science* 311(5763), 17 de febrero de 2006, DOI: 10.1126/science.1121381
  - Sarmiento, J. L. and N. Gruber (2003) "Sinks for Anthropogenic Carbon", (Depósitos del Carbono Antropogénico) *Physics Today*, agosto de 2002, [www.aip.org/pt/vol-55/iss-8/p30.html](http://www.aip.org/pt/vol-55/iss-8/p30.html)
  - Saupe, E. (2007) "Snowmelt on the rise in Greenland", (Aumenta el deshielo de la nieve en Groenlandia) *GeoTimes*, 7 de junio de 2007, <http://www.geotimes.org/june07/article.html?id=WebExtra060707.html>
  - Scheffer, M., V. Brovkin, et al. (2006) "Positive feedback between global warming and atmospheric CO2 concentration inferred from past climate change", (Reacciones entre el calentamiento global y la concentración atmosférica de CO2 en cuanto al cambio climático pasado) *Geophysical Research Letters* 33(L10702), 26 de mayo de 2006, doi:10.1029/2005GL025044
  - Sluijs, A., S. Schouten, et al. (2006), "Subtropical Arctic Ocean temperatures during the Palaeocene/Eocene thermal maximum", (temperatures Subtropicales del Océano Ártico durante el máximo termal del Paleoceno/Eoceno) *Nature* 441: 61-613, 1 de junio de 2006, doi:10.1038/nature04668
  - Spotts, P. N. (2006) "Little Time to avoid big thaw, scientists warn", (Los científicos advierten que queda poco tiempo para evitar el gran deshielo) *Christian Science Monitor*, 24 de marzo de 2006, <http://www.csmonitor.com/2006/0324/p01s03-sten.html>
  - Scambos, T. (2007), "The Arctic sea ice collapse: implications for Greenland?", (La placa de Hielo del Ártico se derrumba: ¿implicaciones para Groenlandia?) comunicación privada, 21 de septiembre de 2007
  - Shukman, D. (2007), "Greenland ice-melt 'speeding up'", (El deshielo de Groenlandia se acelera) *BBC News*. 28 de julio de 2007, <http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/europe/3922579.stm>
  - Stern, N. (2006a) "Launch Presentation", *Stern Review on the Economics of Climate Change*, (Presentación del Informe Stern sobre las implicaciones Económicas del Cambio Climático) 30 de octubre de 2006, [http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/sternreview\\_index.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm)
  - Stern, N. (2006b) "Executive Summary", *Stern Review on the Economics of Climate Change*, (Sumario Ejecutivo de del Informe Stern) octubre de 2006, [http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/sternreview\\_summary.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_summary.cfm)

- Serreze, M., M. Holland, et al. (2007) "Perspectives on the Arctic's Shrinking Sea Ice Cover", (Perspectivas del hundimiento de la Capa de Hielo del Ártico) Science 315(5818): 1533-1536, 16 marzo de 2007, DOI:10.1126/science.1139426
- Stroeve, J., M. Holland, et al. (2007) "Arctic Sea Ice Decline: Faster Than Forecast?", (El declive del Hielo del Mar Ártico: ¿más rápido de lo previsto?) Geophysical Research Letters 34: L09501, 1 de mayo de 2007, doi:10.1029/2007GL029703
- von Radowitz, J. (2007) "Ice cores hold threat of climate timebomb", (El corazón de los hielos es la bomba del clima) The Age, 6 de septiembre de 2006, <http://www.theage.com.au/news/world/ice-cores-hold-threat-of-climate-timebomb/2006/09/05/1157222131704.html>
- Walter, K. M., Zimov S. A., et al. (2006) "Melting Lakes in Siberia Emit Greenhouse Gas", (Los lagos en deshielo de Siberia emiten gases de efecto invernadero) Nature 443: 71 - 75, <http://www.nature.com/news/2006/060904/full/060904-10.html>
- Williams, J. W., S. T. Jackson, et al. (2007) "Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD", (Distribuciones proyectadas de climas nuevos y climas desapareciendo para el 2100 AD) PNAS 10.1073/pnas.0606292104. 27
- Young, K. (2006) "Greenland ice cap may be melting at triple speed", (La placa de hielo de Groenlandia podría estar deshelándose al triple de velocidad) New Scientist, 10 de agosto de 2006, <http://www.newscientist.com/channel/earth/dn9717-greenland-ice-cap-may-be-melting-at-triple-speed.html>