
EL CALENTAMIENTO GLOBAL

Resultados recientes¹

Gustavo V. Necco Carlomagno²

Expone la incidencia del balance global de energía en el clima, su influencia sobre el océano Pacífico y los riesgos de la geoingeniería.

El **calentamiento global** actual se está produciendo básicamente debido a una modificación del balance de calor del planeta y es parte de un problema bastante complejo: el **cambio climático**.

La civilización industrial, con sus enormes demandas energéticas, hace que los seres humanos estemos modificando el clima, al generar con nuestras actividades grandes cantidades de gases que alteran el balance de calor (llamados “de efecto invernadero”). Uno de los más importantes es el dióxido de carbono, producido por la utilización de combustibles fósiles, contribuyendo así al cambio climático y al calentamiento global. Con frecuencia la información que recibimos de los medios sobre el calentamiento global exagera tremendamente y describe la situación en términos muy negativos. Más aún, las supuestas soluciones que se plantean muchas veces tienen un costo económico muy alto o contribuyen en poco o nada a una solución.

El tema ha alcanzado los más altos niveles, tanto nacionales como internacionales. Por ejemplo, el Reino Unido ha expandido en octubre de 2008 su Departamento de Energía agregando el Cambio Climático y la Presidencia de la República Oriental del Uruguay, el 20 de mayo 2009, creó por decreto N° 238 el Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático. Escribimos esta nota a un mes de la reunión de Copenhague, donde el mundo deberá considerar cómo continuarán los acuerdos de Kyoto, que expiran en el año 2012.

Los procesos que producen el clima global son extremadamente complejos e involucran interacciones de la atmósfera, los océanos, el agua en todos sus estados, la litosfera y la biosfera y no es posible aquí tratar el problema en toda su complejidad. Aunque podemos ver rápidamente la esencia del proceso que genera el clima como resultado de un balance o equilibrio global de energía, a largo plazo. El calor procedente del sol llega a la superficie terrestre en forma de radiación entrante de *onda corta, visible*, que es posteriormente reflejada hacia el exterior como radiación de *onda larga, infrarroja*. Pero la presencia de ciertos gases

¹ Presentado para su publicación en octubre de 2009.

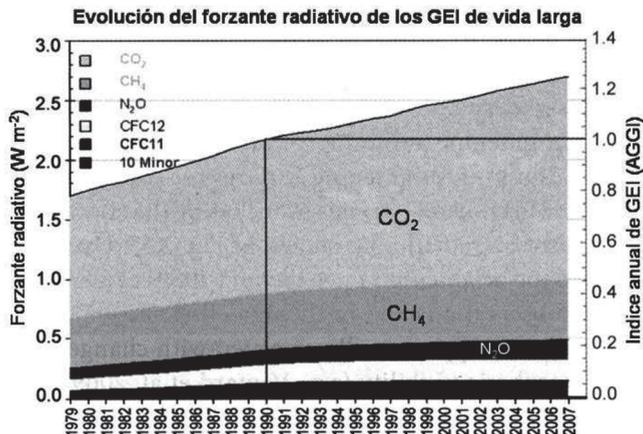
² Licenciado en Meteorología, UBA, 1968; Dr. en Ciencias (Meteorología), Univ. Paris VI, 1972. Director, Departamento de Enseñanza y Formación Profesional, Organización Meteorológica Mundial (OMM), Ginebra, Suiza, 1985-2002; Director, Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), Sao José dos Campos, Brasil, 2002-2004.
gustavo.necco@gmail.com

en la atmósfera, como el vapor de agua, el dióxido de carbono o el metano, hace que se reduzca la radiación saliente de onda larga y el calor quede retenido en la atmósfera provocando el llamado “*efecto invernadero*”. Este es un efecto natural que actúa como una “frazada” haciendo que la atmósfera del planeta alcance una temperatura media confortable (alrededor de 15 grados centígrados).

Desde mediados del siglo XIX el incremento por la actividad humana de la concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono o el metano, está provocando un aumento de este efecto y a esta contribución antropogénica se le atribuye un rol en el calentamiento observado en las últimas décadas. Algunos escépticos han argumentado que esta influencia no existe ya que el componente mayor en los GEI es el vapor de agua, que no es influenciado por el hombre, y que, además, el dióxido de carbono es prácticamente despreciable en la composición del aire (alrededor del 0.04 por ciento). Pero no es en las bajas concentraciones de los gases “traza” donde tenemos que poner nuestra atención, sino sobre cómo influyen en el balance global de calor.

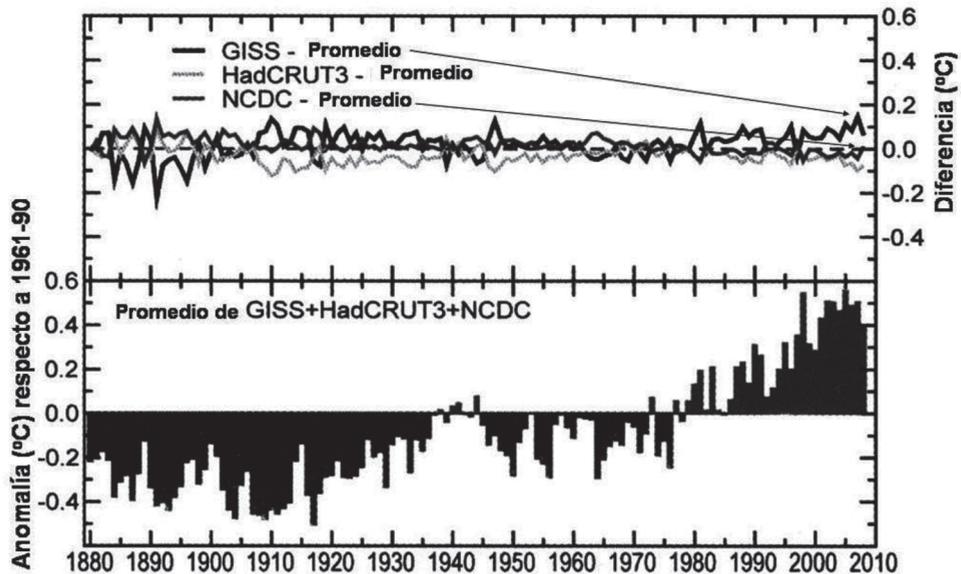
El sol entrega, por medio de su radiación de onda corta, unos 342 watts por metro cuadrado, en promedio, de los que se reflejan al espacio unos 107 watts por metro cuadrado y, por consiguiente, se pierden como calor (radiación infrarroja – onda larga) unos 235 watts por metro cuadrado. Los GEI, a pesar de su muy baja concentración, son muy eficientes en alterar (“forzar”) el balance de radiación de onda larga. ¿En cuánto? La figura (tomada de “State of the Climate in 2008”, suplemento al Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 90, N° 8, agosto 2009), indica que actualmente alcanzan a forzar el balance en un nivel de 2 a 2.5 watts por metro cuadrado. Esto es casi un uno por ciento del monto del flujo energético en onda larga: un monto nada despreciable y que explica la importancia que el mundo científico da a los GEI, en particular al CO₂.

El dióxido de carbono es un gas que, una vez introducido en la atmósfera, permanece por mucho tiempo (es de “vida larga”) y sus efectos se mantienen y acumulan. La figura ilustra la evolución del forzante radiativo de los GEI en las últimas décadas, donde el efecto del CO₂ es predominante. Allí se ve que el crecimiento del forzante es constante y desde 1990, tomado como año de referencia, ha aumentado un 24 por ciento. (FIGURA EVOLUCIÓN).



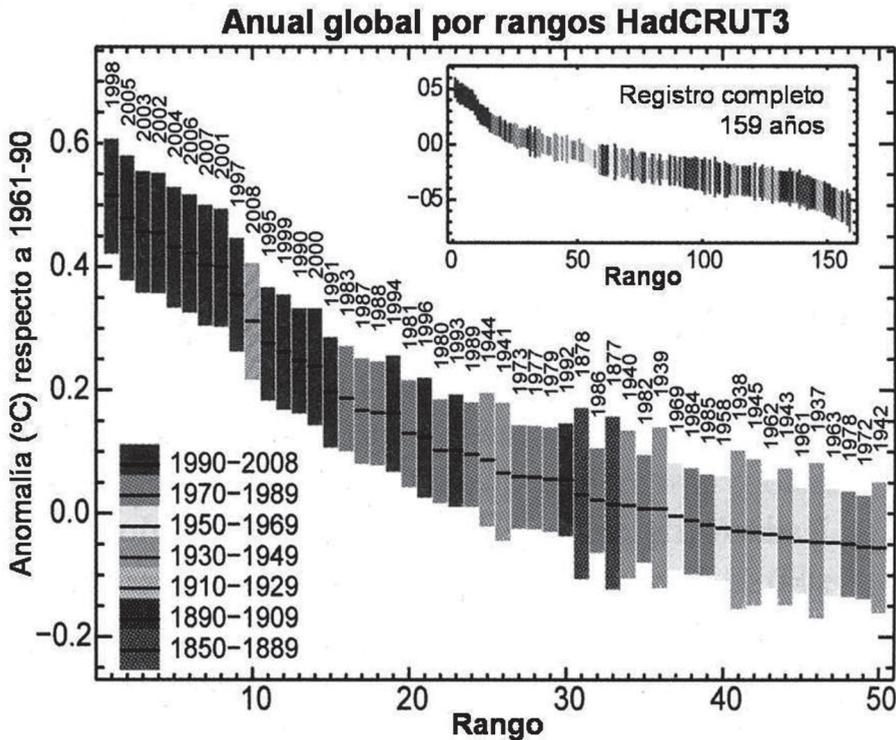
La concentración de CO₂ en 1990 alcanzó el valor de aproximadamente 355 ppm (partes por millón en volumen). ¿Cuáles fueron estos niveles en los períodos previos a la influencia humana? Las burbujas de aire atrapadas en las perforaciones en las capas de hielo antárticas permitieron analizar la concentración de dióxido de carbono y sus variaciones en un período de 420.000 años desde el presente e inferir también los cambios térmicos ocurridos analizando las fracciones de isótopos de oxígeno e hidrógeno. Los resultados muestran que las variaciones de CO₂ y temperatura fueron grandes y están fuertemente correlacionadas, observándose claramente ciclos de aproximadamente 70.000 a 100.000 años (de Milankovitch), donde pequeños cambios en la excentricidad de la órbita terrestre modulan la cantidad de insolación recibida por la Tierra. Es como si el sistema “latiera” en pulsos donde se enfría lentamente, llega a un mínimo (glaciación) y luego se calienta más rápidamente (aquí es posible que las variaciones de temperatura precedan a las de CO₂). En este “estado natural”, sin efectos mayores de la actividad humana, las concentraciones de CO₂ oscilan en un rango limitado entre 200 ppm y 300 ppm. El consumo de combustible fósil, que lanzó a la atmósfera en un siglo y medio lo que la geología acumuló en millones de años, ha hecho que actualmente la concentración de CO₂ alcance un valor de aproximadamente 385 ppm, muy por encima de los límites obtenidos de los hielos antárticos. Son valores muy altos y es posible que esta concentración no haya sido tan alta en la atmósfera en cientos de miles de años, y continúa creciendo a una tasa de 2 ppm por año (un crecimiento de aproximadamente 0.5% por año).

¿Cómo reacciona la atmósfera? La figura siguiente (tomada de “State of the Climate in 2008”), cuadro inferior, muestra las anomalías de la temperatura global respecto al promedio treintaañal 1961-90 obtenidas de tres conjuntos de datos globales: GISS (Goddard Institute of Space Sciences - NASA), HadCRUT3 (Centro Hadley-Reino Unido) y NCDC (National Climate Data Center-EEUU).



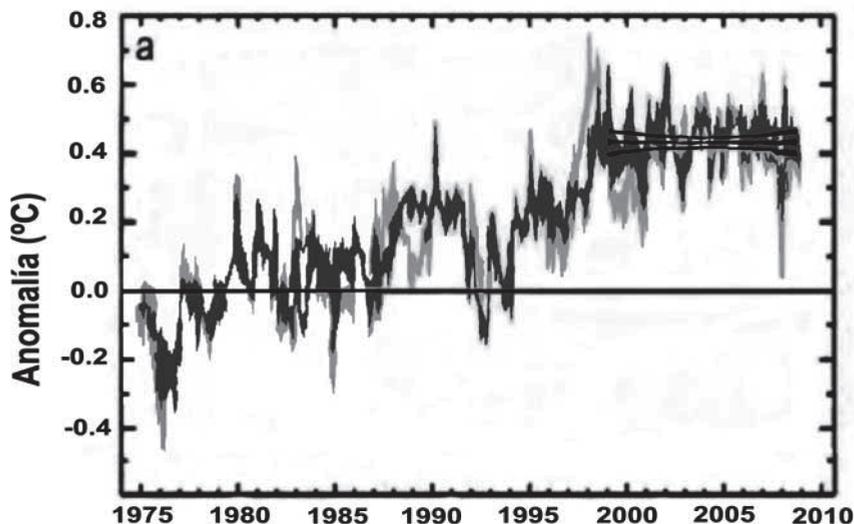
Cada análisis está basado en mediciones de la temperatura del aire en superficie sobre tierra y en los mares en buques y boyas (y satélites en el caso de GISS y NCDC). Aunque aparecen diferencias regionales hay una fuerte concordancia en la señal global de baja frecuencia (ver el cuadro superior de la figura) donde las diferencias raramente exceden 0.1 °C y son mucho menores al crecimiento de las temperaturas medias globales desde 1970. Este gráfico refleja las características principales del comportamiento mostrado en los informes recientes del IPCC: las temperaturas entre 1880 y 1920 se encontraron entre 0,2 y 0.4 °C bajo el promedio, aparece un calentamiento entre 1920 y 1945, un relativo enfriamiento entre 1945 y 1976, y un notable calentamiento a partir de este año, alcanzándose anomalías de alrededor de +0.5 °C al finalizar el siglo XX (varios estudios climatológicos han mostrado que a partir del año 1976 se ha producido un fuerte cambio en los patrones climáticos globales y regionales). El año 2008 es el más frío desde el 2000, pero todavía se encuentra entre los 10 más cálidos del registro total.

La figura siguiente (también de “State of the Climate in 2008”) grafica la temperatura media global año por año ordenada en forma decreciente, con los límites de confianza a nivel del 95%, para los análisis del Centro Hadley. El panel principal muestra los cincuenta años más cálidos y el pequeño gráfico insertado muestra el registro total de 159 años. Los 20 años más cálidos han ocurrido todos después de 1981 y los diez más cálidos en los últimos 12 años. El año 2008 se encuentra dentro de la variabilidad esperada y no se distingue de los otros años de mayor rango.



La próxima figura (adoptada de la misma referencia anterior) muestra la evolución desde 1975 de las anomalías de la temperatura global, referidas al período 1961-90, de los datos del Centro Hadley, HadCRUT3 (curva gris clara del sector superior) y la misma curva luego de extraerle los efectos de los fenómenos El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) (curva gris oscura) indicando que el crecimiento se ha detenido en la última década.

La tendencia ajustada por cuadrados mínimos para el período enero 1999 a diciembre 2008 es de $+0.07 \pm 0.07$ °C por década: mucho menos que los 0.18 °C por década registrados entre 1979 y 2005 y los 0.2 °C por década esperados por el IPCC en la próxima década. Esto ocurre a pesar del incremento en el forzante radiactivo discutido en los párrafos anteriores, debido a actividades humanas, llevando a algunos a cuestionar los escenarios futuros de calentamiento.

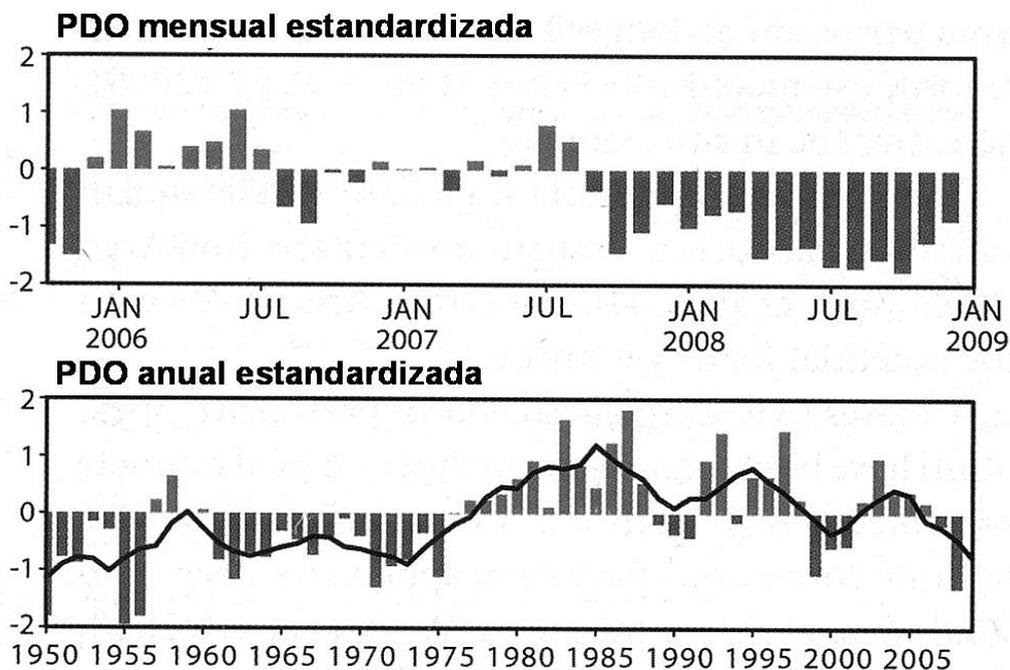


Aquí hay que considerar la variabilidad del sistema climático, que es altamente interactivo y varía en escalas de tiempo de décadas, cientos y miles de años. Hay una fuerte posibilidad que su variabilidad interna contribuyó a reducir el calentamiento en la última década y que podemos esperar que vuelva a calentarse en el futuro, consistentemente con las previsiones de las simulaciones con modelos físico-matemáticos.

Al respecto veamos una interesante hipótesis lanzada por el científico brasileño Luiz B. Molion que fue presentada en el Congreso de Meteorología CONGREGMET IX, realizado en Buenos Aires en el 2005. Los océanos son un componente importante del sistema climático y de alguna manera regulan el comportamiento a largo plazo del clima debido a la enorme capacidad calórica del agua. Si nos detenemos en el océano Pacífico vemos que ocupa casi un tercio del globo terráqueo, por lo que su influencia es considerable y es importante observar su comportamiento en largos períodos. La llamada “Oscilación Decadal del Pacífico” (PDO) es un fenómeno a largo plazo de la variabilidad del océano Pacífico similar a El Niño/La Niña pero que persiste por unos 20 a 30 años. Las causas de la PDO no se conocen pero varios estudios observacionales indican que durante el período 1947 a 1976 la PDO tuvo un régimen “frío”, mientras que en los períodos 1925 a 1946 y de 1977 a 1998 dominaron los regímenes

de PDO “calientes”. Durante el período frío 1946-76 se observaron más Niñas que Niños por lo que sugiere que esta variabilidad interna ha oscurecido o compensado el calentamiento debido al aumento de CO₂ (forzante externo) y al volverse al régimen caliente a partir de 1976, con la concomitante ocurrencia de más Niños que Niñas, esta compensación desaparece por lo que se lanza el calentamiento observado. Molion en su presentación, de hace casi cinco años, especulaba que al retornar un régimen frío en el Pacífico deberíamos esperar una reducción de la tasa de calentamiento.

Se presenta en la figura siguiente (de “State of the Climate in 2008”) un detalle de la variación de la PDO en las últimas décadas y en los últimos años, donde en el panel inferior se destacan el ciclo frío que termina en 1976 y el caliente que aparenta finalizar a principios de este siglo. En el superior surge claramente el intenso fenómeno de La Niña del año 2008, un factor principal en el enfriamiento global ocurrido en este año.



Debemos notar que aunque globalmente el año 2008 es menos caliente esto no implica que en todas las regiones ocurra lo mismo. Por ejemplo en la parte austral de Sudamérica se observaron temperaturas con anomalías positivas de 0.5 a 1.0 °C por encima del promedio 1971-2000. Las temperaturas en el mes de julio fueron más de 3 °C por encima del promedio en el norte de Argentina, Paraguay, el norte de Uruguay y sur de Brasil haciendo que este mes fuera el más caliente en más de 50 años en muchos lugares. También en el mes de noviembre la temperatura máxima media diurna en el centro de Argentina y en el sudoeste de Uruguay fue más de 4 °C por encima de la media climatológica (ver “State of the Climate in 2008”).

Sobre un extenso sector de la Argentina central y el Uruguay, la precipitación observada estuvo por debajo de la media 1971-2000 desde noviembre 2007 hasta diciembre 2008, produciendo la sequía más severa en los últimos 65 años y afectando fuertemente la producción de granos y carne. Esta situación está relacionada con la fuerte Niña ocurrida en el período ya que desde 1976 este fenómeno está altamente correlacionado con los mínimos de precipitación y las consecuentes sequías en esta región. Como comentario colateral podemos suponer que si la fase fría de la PDO continúa en la próxima década, produciendo más Niñas que Niños, es de esperar que también aumenten las frecuencias de sequías en la región.

De lo discutido anteriormente es evidente la dificultad de estimar la evolución de los cambios o variabilidad del clima, dadas las complejas interacciones internas y externas involucradas en el sistema. Sin embargo continuar con la inyección de GEI con el mismo ritmo actual implica inevitablemente un aumento sustancial del efecto invernadero con consecuencias potenciales muy serias para el comportamiento futuro del sistema.

¿Cómo contrarrestar esta intensificación del efecto invernadero? Podríamos:

- incrementar la radiación saliente de onda larga mediante la reducción de la concentración de gases en la atmósfera (lo que equivaldría a abrir el invernadero para que se ventile),
- reducir la radiación entrante de onda corta (lo que equivaldría a ponerle persianas exteriores a la Tierra para reducir la entrada de la luz solar y por tanto, del calor).

En el primer caso se encuentran las estrategias de *mitigación*; en el segundo (aunque también en el primero) la *geoingeniería*, basada en la manipulación deliberada de los aspectos físicos, químicos, o biológicos del sistema Tierra y que ha tomado cierta notoriedad recientemente.

Entre las manipulaciones en gran escala sugeridas por la geoingeniería se incluyen la fertilización del océano o la repoblación forestal con especies no nativas para reducir los niveles de gases invernaderos atmosféricos o bien ejercer una influencia refrigerante sobre la Tierra reflejando la luz del sol (por ejemplo poniendo partículas reflectoras en la atmósfera superior, colocando espejos en el espacio, aumentando la reflectividad de la superficie, o cambiando la cantidad o las características de las nubes). Respecto a esta manipulación de los procesos que afectan la onda corta un artículo científico reciente (Hegerl G.C. y Solomon S.: Risks of Climate Engineering, Science 325, p. 955-956, 2009) argumenta que las medidas de geoingeniería climática podrían provocar un acusado descenso global de las precipitaciones y una distribución aún más irregular de las mismas. Al reducir la radiación solar entrante de onda corta las masas continentales y los océanos se calientan menos, reduciéndose la evaporación y por tanto, las lluvias. Las autoras sugieren también que los cambios en las precipitaciones debidos a la reducción de la radiación solar entrante de onda corta son más difíciles de predecir por los modelos climáticos habituales que los debidos a la reducción de la radiación saliente de onda larga, por lo que la aplicación de medidas de geoingeniería podría reducir la capacidad de predicción, y por tanto, la capacidad de respuesta ante los cambios que se avecinan (un “remedio más grave que la enfermedad”).

Otra estrategia activa para reducir los riesgos de cambio climático (o del calentamiento global) es la **adaptación**, que intenta una moderación de los impactos del clima aumentando nuestra capacidad para enfrentarlos.

En realidad todas estas iniciativas para comprender y predecir el cambio climático así como reducir o mitigar sus efectos ignoran las cuestiones de fondo: por un lado el enorme crecimiento de la población mundial, que produce un gran estrés sobre los recursos naturales (finitos y limitados), y por otro una sociedad de consumo con un modelo energético y productivo **obsoleto** e **insostenible**. La humanidad, tarde o temprano, tendrá que enfrentarlos reduciendo su tasa de natalidad y revisando sus modelos de sociedad hacia sistemas de vida más amigables con el medio ambiente.-

ALGUNOS ENLACES DE INTERÉS (funcionales en octubre 2009):

- <http://usuarios.netgate.com.uy/carlosfleitas/calglo.htm>
(Un sitio uruguayo muy completo dedicado al cambio climático, que incluye temas regionales – la última edición es de diciembre 2006).
- <http://www.fisica.edu.uy/~barreiro/>
(Excelente introducción a la dinámica del clima por el Dr. Marcelo Barreiro, Unidad de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Física, Facultad de Ciencias, Udelar).
- **Presidencia de la R.O.U.** - Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático.
http://www.presidencia.gub.uy/web/pages/cambio_climatico.htm
- **Uruguay: El cambio climático aquí y ahora**, UNDP 2007
<http://www.energyandenvironment.undp.org/undp/index.cfm?module=Library&page=Document&DocumentID=6520>
(Documento de divulgación, publicado por el P.N.U.D., que brinda un panorama general sobre la situación del cambio climático en Uruguay).
- **A contribution to the understanding the regional impacts of global change in South America** / Pedro Leite da Silva Dias, Wagner Costa Ribeiro, Luci Hidalgo Nunes – Sao Paulo, Instituto de Estudos Avancados da Universidade de Sao Paulo, 2007. Disponible en: <http://www.iea.usp.br/iea/textos/globalchangeinsouthamerica.pdf?PHPSESSID=7c334170f6387a948cdb48374e5bd58b>
(Incluye todos los artículos presentados en la II Conferencia sobre Cambio Global en Sudamérica, 6-10 de noviembre 2005, San Pablo, Brasil).
- **El cambio climático en la Argentina**, marzo 2009.
www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/09ccargentina.pdf
(Un informe multidisciplinario muy compacto, pero completo, sobre la situación en Argentina).
- **El cambio climático global como un componente en la visión estratégica del país**, Vicente Barros.
www.inta.gov.ar/Pergamino/info/documentos/.../Res_Barros.pdf
(Nota con agudas reflexiones sobre las consecuencias socio-económicas regionales y globales escrito por el Dr. Vicente Barros, uno de los más destacados expertos sudamericanos en cambio climático).
- **Cambio climático en el Río de la Plata**, Vicente Barros.
hydriaweb.com.ar/kb/file/140/227/
(Breve artículo del Dr. Barros sobre la disponibilidad de recursos hídricos en la Cuenca del Plata frente a los posibles escenarios climáticos).

