
GRADUAL vs ABRUPTO: NECESIDAD DE DEFINIR MEJOR EL PARADIGMA DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS DE LOS PROCESOS NATURALES Y SOCIALES

DIRK R. THIELEN y RAFAEL LAIRET CENTENO

RESUMEN

El ser humano ha tenido una percepción histórica de estabilidad climática. Sin embargo, la realidad es otra. Los registros indican que los cambios abruptos han ocurrido y han moldeado no solo los procesos naturales sino su propia historia. Un cambio climático abrupto provoca dificultad de adaptación en todos los sistemas. Actualmente se evalúan efectos de una posible al-

teración de la Circulación Termohalina del Atlántico Norte en el clima a escala global. El trabajo se plantea la evidencia resumiendo estudios recientes y resaltando aquellos que son más impactantes para la comunidad científica, permitiendo la redimensión del paradigma del cambio climático en los cambios globales, enfocando integralmente el problema.

Consideraciones Generales



Antes de la década de los 90, la visión dominante que se tenía de los cambios climáticos enfatizaba el lento y gradual cambio de las edades del hielo en respuesta a ajustes en la órbita terrestre en el lapso de decenas de miles de años o de cambios en períodos mayores (≥ 100 millones de años) que ocurren por efecto de otras dinámicas terrestres. Esto generó una percepción generalizada de estabilidad climática, al punto que para los años 60 la UNESCO publicaba en su Historia General: "... el clima en general es estable y lo es desde el sexto milenio A.C." (Fletcher, 1969). Hasta hace poco, la interpretación de los procesos naturales por la ciencia, y la valoración del entorno y estrategias de uso por parte de las sociedades humanas, estaban cimentadas en este paradigma

de estabilidad climática. Es a principios de los 90 cuando se acumulan suficientes evidencias para afirmar, por consenso, que el clima no solo ha sido variable en el pasado, sino que muestra en el presente una tendencia natural al cambio. En la actualidad, las discusiones giran en torno a la dirección y, más recientemente, a la velocidad del cambio climático; todo dentro del contexto de la afectación generada por la actividad antrópica histórica y de las tendencias actuales de uso del espacio y la energía.

Desde una perspectiva humana, el cambio climático es una desviación del tiempo meteorológico promedio esperado o de las condiciones climáticas normales para un lugar y época del año determinados (NOAA, 2003). Al ampliar espacial y temporalmente esta perspectiva se tiene que el cambio climático es reflejo de cambios significativos en el estado medio del sistema tierra-océano-atmósfera que

resultan en cambios en los patrones de circulación de la atmósfera y de los océanos, los cuales a su vez impactan en el clima regional. En este sentido, para la paleoclimatología, el cambio climático es normal y forma parte de la variabilidad natural del planeta relacionada con las interacciones entre atmósfera, océano y tierra, al igual que con cambios en la cantidad de radiación solar que alcanza a la Tierra (NOAA, 2003). Los paleoclimatólogos han recolectado datos provenientes de registros naturales de la variabilidad climática tales como en anillos de árboles, testigos de hielo, polen fósil, sedimentos de lagos y océanos, corales y, desde hace unos 150 años, datos históricos. Analizando los registros tomados de éstas y de otras fuentes paleoclimáticas, por proxy, los científicos pueden extender la comprensión acerca del clima mucho más allá de la época de registro instrumental, de algo más de 100 años.

PALABRAS CLAVE / Cambio Climático Abrupto / Cambio de Paradigma / Circulación Termohalina /

Recibido: 08/05/2006. Modificado: 30/01/2007. Aceptado: 31/01/2007.

Dirk R. Thielen. Maestría y Doctorado en Ecología Tropical, Universidad de Los Andes, Venezuela. Postdoctorante III, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Dirección: Centro de Ecología, IVIC, Apartado 21827, Caracas 1020-A, Venezuela. e-mail: dthielen@ivic.ve

Rafael Lairet Centeno. Licenciado en Geografía, Universidad Central de Venezuela. Maestría en Geografía, Mac Master University, Canadá. Profesor, Universidad Simón Bolívar y Universidad Metropolitana, Venezuela. Colaborador Visitante, IVIC, Venezuela. e-mail: rlairret@ivic.ve

Los avances en sus estudios y la refinación de las técnicas empleadas por la paleoclimatología se reflejan en los informes secuenciales del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 1990, 1995, 2001), así como los del *National Research Council* (NRC-CGCR, 1989, 1990, 1999), y permiten afirmar que el clima no solo ha cambiado, sino que está cambiando y continuará haciéndolo, con o sin influencia antrópica. En este contexto de los cambios globales, el IPCC formula recomendaciones para la mitigación de las afectaciones a través de la evaluación de alteraciones potenciales en las relaciones causa/efecto, en la resiliencia y en la capacidad de adaptación de los sistemas naturales y humanos a las nuevas tendencias de cambio, especialmente en lo que respecta a las emisiones de gases de invernadero. Debido a que los informes del IPCC intentan responder preguntas como ¿qué pasaría si el CO₂ se duplica?, reflejan inquietudes centradas primariamente en escenarios de cambios climáticos graduales donde se simula una situación en la que el clima se desplaza lentamente de un estado inicial a uno final (*i.e.* uno más cálido). Pero sería un error considerar que los cambios climáticos suceden con una lentitud suficiente para que el ambiente, las estructuras sociales y económicas, las ecológicas e incluso las biológicas se adapten con facilidad y sin traumas a tales modificaciones en el clima (Capel-Molina, 1999). La gradualidad del cambio no se traduce necesariamente en la gradualidad de la respuesta al mismo; existe la posibilidad que la acumulación de gases de invernadero ocasione una respuesta en el clima espacialmente amplia y temporalmente abrupta (NRC-CACC, 2002). Evidencias geológicas y paleoclimáticas colectadas en las últimas décadas muestran que el clima puede cambiar abruptamente, afectando regiones hemisféricas hasta globales de forma repetida (Broecker, 1997). El reconocimiento de cambios abruptos en el pasado refuerza la preocupación acerca de la potencialidad de impactos significativos producto de cambios climáticos por influencia antrópica. Las tendencias actuales y las proyecciones para los próximos 100 años señalan que los promedios y las variabilidades climáticas pudieran alcanzar niveles hasta ahora no registradas por instrumentos. Cambios de hasta 16°C y de un factor de 2 para las precipitaciones se han presentado en algunos lugares por períodos tan cortos como décadas o unos pocos años (Alley y Clark, 1999; Lang *et al.*, 1999).

La potencialidad de la ocurrencia de un cambio climático abrupto es ahora discutida por bibliografía específica al tema (*e.g.* NRC-CACC, 2002), y por Internet, con más de 3000000 de referencias disponibles (buscador Google®, palabra clave: abrupt climate change, 12-01-06). Entre las publicaciones con un enfoque apreciablemente sociopolítico Wirth *et al.* (2003), al considerar las implicaciones de la ocurrencia potencial de un cambio climático abrupto, justifican el retiro de los EEUU del Tratado de Kyoto y avalan una política energética de “business as usual” por parte de ese país. Con una mejor argumentación científica destaca el informe de Schwartz y Randall (2003) presentado ante el Departamento de Estado de los EEUU, en el que se advierte sobre las graves implicaciones de un cambio climático abrupto en la seguridad de esa nación. Allí se señala que las implicaciones geopolíticas serían sensiblemente mayores a las ocasionadas hasta ahora por la denominada “lucha contra el terrorismo” y se hace una propuesta de cuales deben ser los lineamientos para el logro de un nuevo orden mundial “sustentable”. Al hacerse público, este último trabajo generó amplias reseñas por parte de las principales agencias noticiosas mundiales.

No fue sino hasta varios años después de la Cumbre de Río de 1992 y luego que la comunidad científica advirtiera reiteradamente sobre la posibilidad de alteraciones en el efecto invernadero global por las emisiones de origen antrópico, cuando los “decision makers” consideraron en sus estrategias de desarrollo y manejo a los escenarios de cambio climático gradual. Si bien la redimensión temporal del paradigma del cambio climático no es aceptada aún por consenso, llama la atención que sectores de la sociedad humana, tradicionalmente indiferentes al conocimiento científico e históricamente reuentes, por sus costos políticos y económicos, a reorientar estrategias preestablecidas, muestren una mayor disposición que las diferentes disciplinas de la ciencia a discutir los escenarios de afectación y hasta la posibilidad de aceptar la redefinición de un, todavía nuevo, paradigma del cambio climático.

Hay evidencias de que las tendencias actuales en lo que respecta a la variabilidad climática natural, exacerbada por la actividad antrópica histórica, tienen el potencial de llevar al sistema climático más allá de un umbral y alcanzar un nuevo estado climático (NRC-CACC, 2002). Considerando que más del 90% de la información dispo-

nible en Internet trata sobre las implicaciones sociales, políticas y económicas ante la ocurrencia de un cambio climático abrupto, casi todos desde un enfoque antropocéntrico y vulnerables al sensacionalismo, el objetivo del presente trabajo es revisar la bibliografía técnica especializada, identificar las evidencias contundentes, resumir el estado actual del conocimiento y resaltar aquellos aspectos que requieran mayor atención por parte de la comunidad científica y que permita la redimensión del paradigma del cambio climático dentro del contexto de los cambios globales y de una visión integral del problema.

Cambio Climático Abrupto

Técnicamente, un cambio climático abrupto (CCA) ocurre cuando el sistema climático es forzado a cruzar un determinado umbral, desatando una transición a un nuevo estado, con una tasa determinada por el mismo sistema climático y más rápida que la misma causa que lo produce (NRC-CACC, 2002). Los procesos caóticos en el sistema climático pueden permitir que la causa de un CCA pase casi inadvertida. Desde este punto de vista, un CCA es aquel que ocurre tan rápida e inesperadamente que los sistemas naturales y humanos tienen dificultades en adaptarse a la nueva situación. En todo caso, es muy probable que los impactos de los CCAs sean mayores y más agudos que aquellos que tienen lugar ante un cambio climático gradual, según lo planteado en los informes del IPCC. La principal razón para esta diferencia es que, por lo general, los sistemas ecológicos y humanos se adaptan más fácilmente a los estímulos que generan los cambios predecibles y graduales (NAST, 2000).

Se sospecha que la historia del hombre ha estado moldeada por eventos de CCA. Los registros paleoclimáticos sugieren que sequías abruptas pero persistentes causaron la progresiva desocupación de los asentamientos desarrollados por el Imperio Maya y la posterior desintegración de su cultura (Hodell *et al.*, 1995; Gill, 2000) y que cambios también abruptos fueron los responsables del colapso del Imperio Acadio en Mesopotamia (Weiss *et al.*, 1993). Los registros sedimentarios revelan numerosos y amplios CCAs en los pasados 100000 años (NRC-CACC, 2002). El mejor conocido es el intervalo frío *Younger Dryas*, un evento casi global que comenzó cerca de 12800 años atrás cuando, en un proceso de pocas décadas, ocurrió una interrupción en el

calentamiento gradual que siguió a la última glaciación y que culminó también abruptamente hace 11600 años. Debido a que el *Younger Dryas* puede seguirse claramente en los registros geológicos, ha recibido especial atención. El enfriamiento fue acompañado por una duplicación en la cobertura de nieve en tres años y la mayor tasa de cambio de acumulación ocurrió en el lapso de un año (NRC-CACC, 2002). Estos resultados concuerdan con los registros de sedimentos de la Fosa de Cariaco, en las costas de Venezuela, los cuales se depositaron en 10 años o menos (Hughen *et al.*, 1996). Por sus efectos de orden climático el fenómeno *Younger Dryas* condujo a los cazadores recolectores que ocupaban espacios de la cultura Natufian, en el Asia Menor, a transformar su forma de vida a la de agricultores primitivos y desarrollar la agricultura de cereales (Muron, 2003).

Mecanismos que activan un CCA

Según el NRC-CACC (2002), los CCAs pueden ocurrir en tres formas fundamentales distintas:

1. *Un CCA puede ser la respuesta a un parámetro o fuerza externa que cambia rápidamente.* Si se considera el sistema atmósfera-oceano solamente, la descarga masiva y repentina de agua dulce proveniente del deshielo de las masas polares sería un ejemplo de una influencia súbita externa. La no-linealidad del sistema atmósfera-oceano no es prerequisite para esa conducta, cuya escala temporal está dada esencialmente por la fuerza perturbadora.

2. *Cambios lentos en las fuerzas perturbadoras pueden inducir a sobrepasar un umbral de cambio y resultar en la transición a un segundo sistema de equilibrio.* La evolución de este cambio estaría gobernada por la dinámica del sistema más que por una escala temporal externa de cambios lentos. Al considerar el sistema global, descargas masivas de agua dulce proveniente del deshielo de las masas de hielo polares y de glaciares en retroceso sería el resultado del cruce del umbral. El deshielo lento al final de la última edad de hielo produjo una sucesión de lagos helados marginales. La ruptura súbita de estos lagos represados causaría la liberación rápida del agua en ellas contenida (Broecker *et al.*, 1988).

3. *El régimen de transición puede ocurrir de forma espontánea en un sistema caótico.* En este caso no se requieren detonantes externos para las transicio-

nes. Así, un régimen de cambios puede continuar indefinidamente o hasta que cambios lentos en fuerzas externas o en la dinámica del sistema reviertan la conducta caótica del sistema.

La Circulación Termohalina en la activación de un CCA

Debido a que el agua tiene una enorme capacidad calórica los océanos retienen de 10 a 100 veces más calor que su equivalente en superficie de tierra. La radiación solar de un año sobre la superficie de los océanos apenas incrementaría la temperatura del primer km en 1°C; además, los océanos ejercen una profunda influencia en el clima a través de su habilidad para transportar calor de una localidad a otra y de su capacidad de secuestrar calor lejos de la superficie (NRC-CACC, 2002). Por ser el mayor reservorio de agua del planeta, los océanos juegan un importante papel de pivoteo en los ciclos de evaporación y precipitación que determinan, a escala global, los patrones de precipitación. Por ello, cambios en las propiedades del agua oceánica y en sus patrones de circulación se traducen en alteraciones en el intercambio de calor y en los patrones espaciales de precipitación (WHOI, 2003). La circulación termohalina (CTH) del norte del Atlántico está determinada por la densidad del agua y es causada por diferencias en su temperatura y salinidad. En el Atlántico Norte, la CTH consiste en una corriente superficial de agua cálida que fluye hacia el norte y una corriente profunda de agua fría que fluye hacia el sur. La elevada salinidad de las aguas del Atlántico permite que la CTH sea especialmente activa en ese océano (WHOI, 2003), lo que resulta en un transporte neto de calor desde regiones al sur del Atlántico hasta las latitudes más altas del Atlántico Norte (Ganachaud y Wunsch, 2000). En el caso del Pacífico, y a pesar que sus aguas también son frías al norte, no ocurre la formación de aguas profundas debido a que la salinidad es muy baja para permitir una densidad suficientemente elevada que provoque una convección profunda (NRC-CACC, 2002). El mayor calentamiento de las costas europeas en relación con latitudes similares de la costa de Alaska está relacionado al transporte de calor de la CTH (NRC-CACC, 2002). Si parte del agua profunda del Atlántico llegara a la superficie en latitudes menores a las actuales, podría ocurrir una reducción importante de la temperatura atmosférica en las regio-

nes templadas y hasta en las tropicales. Debido a la complejidad de las teleconexiones climáticas, aún un cambio localizado de este tipo pudiera tener impactos espacial y temporalmente extensos (NRC-CACC, 2002). En la actualidad se evalúa la potencialidad de la ocurrencia de un CCA como producto de una posible alteración o colapso de una sección de este transportador oceánico, específicamente de la CTH. Alteraciones en la CTH han estado vinculadas a CCAs pasados importantes, como lo fueron, además del *Younger Dryas*, las oscilaciones de *Dansgaard/Oeschger* y de *Heinrich/Bond* (Broecker *et al.*, 1988), cuando grandes descargas de agua dulce redujeron la capacidad de las aguas salinas del Atlántico Norte de hundirse y precedieron importantes enfriamientos globales (Broecker *et al.*, 1988; Sarnthein *et al.*, 1994; Barber *et al.*, 1999; Boyle, 2000). Esta y otras evidencias hacen que se deba prestar especial atención a posibles alteraciones en la CTH del Atlántico Norte como fuente potencial para la ocurrencia de un CCA. El umbral para la formación de una corriente de agua profunda no puede ser considerado aparte de la circulación general de los océanos, debido a que la densidad que se requiere en la superficie de las aguas del Atlántico Norte para que se sumerjan depende de su relación con la densidad del agua profunda prevaleciente en el resto de los océanos (NRC-CACC, 2002). La salinidad del Atlántico Norte es afectada por el mezclado de aguas atlánticas subtropicales transportadas, cuya salinidad es entonces afectada por vientos tropicales, los cuales pueden sistemáticamente determinar los patrones de precipitación. En conjunto, el balance de agua dulce del Atlántico es afectado no solo por el deshielo de los glaciares producto del calentamiento global sino, además, por alteraciones en las escorrentías de las aguas de precipitación en tierras continentales. Grandes cantidades de agua dulce han sido detectadas en el Atlántico Norte, en una región que se considera especialmente crítica para el funcionamiento de la CTH (WHOI, 2003). La eliminación completa de la CTH causaría la remoción de 8W/m² del balance calórico extratropical del hemisferio norte (Pierrehumbert, 2000). Para restaurar este balance, el sistema atmósfera-oceano del norte debe enfriarse hasta que la pérdida de radiación infrarroja hacia el espacio sea reducida correspondientemente. Según simulaciones de Seager *et al.* (2002), en las que el calor transportado por los océanos es suprimido,

la perturbación en el balance calórico implica un enfriamiento extratropical de cerca de 4°C y el crecimiento de hielo marino amplificaría este enfriamiento. En los modelos de Manabe y Broccoli (1985) y Broccoli y Manabe (1987) un enfriamiento del Atlántico Norte por lo general afecta la fuerza de la circulación tropical de Hadley, lo que conduce a cambios de temperaturas en la sección norte de los trópicos y, más importante aún, a cambios en las precipitaciones. Existen numerosas simulaciones de la respuesta atmosférica a una interrupción de la CTH o a perturbaciones de la temperatura de la superficie del mar en el Atlántico Norte. Fawcett *et al.* (1997) eliminaron el transporte de calor oceánico nórdico y establecieron reducciones localizadas en la temperatura del aire superficial de hasta 24°C. Aún con un enfriamiento tan extremo, la perturbación térmica era localizada. Uno de los principales problemas con las teorías basadas en la CTH para explicar los eventos *Younger Dryas* y *Dansgaard/Oeschger* es que los modelos atmosféricos producen un enfriamiento local del Atlántico Norte en respuesta del cierre de la CTH, con muy pocas repercusiones globales. De hecho, la atmósfera *per se* no parece estar en capacidad de extender eficientemente la influencia de las regiones extratropicales al resto del globo (NRC-CACC, 2002). Los modelos atmosféricos actuales pueden estar obviando procesos físicos de retroalimentación cruciales que permiten a la atmósfera real exhibir respuestas de gran magnitud y extensión a cambios en la CTH. Esto es una posibilidad perturbadora, pues sugiere que los modelos pueden estar fallando al anticipar el riesgo de ocurrencia de CCAs que pudieran estar ocurriendo en conexión con el calentamiento global.

En años recientes se ha prestado especial atención a los mecanismos centrados en los trópicos, especialmente en el Pacífico (NRC-CACC, 2002). Los trópicos tienen un papel más decisivo sobre el Atlántico Norte como mediador del cambio global del clima. Debido a la influencia confinadora relativamente débil de la rotación del planeta en las latitudes bajas y al efecto de Coriolis resultante, el efecto de cambios locales en la temperatura de la superficie del mar es transmitido casi instantáneamente a través de la atmósfera a toda la región tropical. Los trópicos generan un patrón de circulación con impactos en las latitudes medias y regiones polares a través de comunicaciones atmosféricas. El sistema atmós-

fera-oceano tropical ofrece una amplia gama de amplificadores y de interruptores posibles que pueden en principio llevar a un CCA (NRC-CACC, 2002). La circulación atmosférica dominante en los trópicos son las células de Hadley, con aire caliente ascendente cerca del ecuador, distribuyéndose a altas latitudes y descendiendo en los subtrópicos, retornando a nivel del suelo. Esta circulación tiene un profundo efecto en el vapor de agua tropical, en la nubosidad y en la convección: los bosques húmedos se distribuyen donde las corrientes de aire ascienden y desiertos donde éstas descienden. El efecto de Coriolis sobre el flujo de retorno superficial genera los vientos del este (alisios) y afectan a su vez al océano. La parte superior de la circulación afecta las latitudes medias a través de su influencia en los niveles superiores de la corriente de chorro subtropical.

Cambios en la posición de la zona ascendente, o zona de convergencia intertropical (ZCIT) pueden llevar a cambios mayores en la fuerza de la circulación. Los resultados de los modelos sugieren que cambios en las temperaturas del Atlántico Norte asociados a una interrupción de la CTH causarían cambios sustanciales en la circulación Hadley, propagando la influencia de una interrupción de CTH hacia los trópicos (Lindzen y Hou, 1988; Manabe y Stouffer, 1988; Hou y Lindzen, 1992; Fawcett *et al.*, 1997) a través de cambios en la dinámica de la ZCIT que a su vez generan cambios en las precipitaciones tropicales. Cambios en la ZCIT pueden amplificar una condición de CCA (Clement *et al.*, 2000). La ZCIT es uno de los sistemas meteorológicos más importantes que actúan en los trópicos. En el caso de Venezuela, amplias regiones geográficas presentan un régimen de precipitaciones marcadamente estacional que se debe a la dinámica intra-anual de la ZCIT (Goldbrunner, 1976; Moreau y Deffit, 1979; Martelo, 2002). Para la región de Los Llanos del Orinoco, alteraciones en la ZCIT pueden ocasionar interrupciones del tiempo meteorológico que se traducirían en pulsaciones secas o “veranitos” durante la estación húmeda (Freile, 1969; Casarim, 1983). Una afectación en la ZCIT se traduciría, entonces, en un incremento en la variabilidad interanual de las precipitaciones, en una redistribución intranual de la estación húmeda y quizás hasta una condición relativamente más seca a la actual (Thielen, 2003).

El Niño es una oscilación del sistema acoplado atmósfera-oceano y es considerado como una

de las principales manifestaciones de variabilidad climática interanual global. Su influencia se extiende fuertemente hasta las regiones extratropicales. ¿Cómo cambiaría El Niño ante un clima abruptamente más cálido o más frío? Existe interés en responder esta pregunta pues se ha detectado un cambio en los eventos del Niño desde principio de los años 1970 (NRC-CACC, 2002). A diferencia de las latitudes medias, fluctuaciones en las temperaturas superficiales del mar en los trópicos causan variaciones importantes en el calentamiento atmosférico, que originan a su vez respuestas poderosas que comunican su influencia al resto del planeta. Cualquier cambio en una parte de los trópicos tiende a afectar la temperatura en la troposfera extratropical debido a su estrecha relación con las circulaciones de Hadley y Walker. Los trópicos son fuertes candidatos como “globalizadores” de los cambios climáticos (NRC-CACC, 2002).

Impactos de un CCA

Desde el punto de vista de impactos y adaptaciones sociales y ecológicas, los CCA pueden considerarse como cambios significativos en el clima relativos a una referencia sobre la cual los sistemas económicos y ecológicos se han desenvuelto en tiempos recientes, pudiendo tener impactos suficientes como para dificultar la adaptabilidad (NRC-CACC, 2002). La magnitud de estos impactos resulta del hecho que los procesos ecológicos y económicos se han adaptado a patrones climáticos específicos y están por ello delimitados por la experiencia (la economía) y la historia (los ecosistemas). Son abundantes los estudios sobre los impactos potenciales de los cambios climáticos graduales (véanse los informes secuenciales del IPCC) y los estudios de los impactos de la variabilidad climática sobre el ambiente y la sociedad a la escala regional, como los causados por El Niño. Es muy probable que los impactos de los CCAs sean mayores que los más agudos ocurridos bajo un cambio climático gradual. La principal razón para esta diferencia es que los sistemas ecológicos y económicos usualmente se adaptan más fácilmente a los cambios predecibles y graduales. Es probable que sea pequeño el efecto neto de un pequeño cambio climático en la economía de los países desarrollados, con respecto a la economía global. Por otro lado, donde las economías no están en capacidad de adaptarse, los impactos resultantes de CCAs pueden

ser muy grandes y pudiera ocurrir un cruce de umbrales si el CCA detona quemas y escasez de agua, o excede los niveles normales de seguridad establecidos por las estructuras y las políticas (NRC-CACC, 2002).

Según los informes del IPCC, los sistemas agrícolas y forestales han demostrado ser sensibles a los cambios graduales y es muy probable que sean aún más vulnerables a los cambios abruptos. Para los sistemas naturales es conocido que los cambios climáticos graduales pueden afectar la distribución de especies, la abundancia de poblaciones, la morfología y la conducta, así como la estructura de comunidades (Easterling *et al.*, 2000). Aunque se sabe menos acerca de las relaciones entre procesos climáticos de pequeña y gran escala y los ecosistemas durante extremos en la variabilidad climática, es claro que la estructura y el funcionamiento del ecosistema son afectados por disturbios asociados con eventos climáticos extremos como las inundaciones, tornados y tormentas tropicales (Pickett y White, 1985; Walker y Willing, 1999). Se ha observado un incremento significativo en la actividad de tormentas en la región del Caribe, siendo especialmente alarmantes la frecuencia e intensidad de los eventos en los últimos años. El 2005 fue el año con la temporada de huracanes más intensa de la historia al registrarse 26 ciclones, lo que llevó a recurrir al alfabeto griego, pues la lista de 21 huracanes prevista anualmente por la Organización Mundial de Meteorología no fue suficiente. Tres huracanes lograron alcanzar categoría 5, Katrina, Rita y Wilma. Katrina fue el desastre natural más costoso en la historia de los EEUU y Wilma el huracán más intenso del Atlántico desde que se tienen registros. Independientemente de su economía y nivel de desarrollo, la capacidad de contingencia de los países afectados directamente por estos ciclones resultó insuficiente y fue seriamente cuestionada.

La ocurrencia de impactos de un CCA es más probable cuando los sistemas económicos y ecológicos cruzan umbrales importantes. Muchos procesos biológicos son alterados a determinados umbrales de temperatura y de precipitación (Precht *et al.*, 1973; Easterling *et al.*, 2000). Por ejemplo, la fenología de muchas plantas está adaptada a un clima específico y está limitada por parámetros como tolerancia a la sequía o las heladas (Woodward, 1987). Los registros paleológicos señalan que los eco-

tonos son particularmente susceptibles a los CCAs, principalmente porque la diversidad de especies es grande y la vegetación está frecuentemente limitada por un fuerte gradiente climático (NRC-CACC, 2002). La regresión de los bosques boreales ecotonales en el este de los EEUU y su reemplazo por otras formaciones vegetales, al final del *Younger Dryas*, ocurrió en el lapso de pocas décadas (Petee, 2000). Registros de polen para los períodos fríos de hace 8200 años en Europa señalan un cambio significativo en la composición de especies en menos de 20 años (Tinner y Lotter, 2001). Más aún, un estrés climático es señalado como la posible causa de decrecimiento histórico de los bosques (Hepting, 1963; Manion, 1991). Por ejemplo, un conjunto de veranos inusualmente cálidos están asociados con desapariciones pasadas de poblaciones de píceas rojas (*Picea rubens*) en el este de Norte América (Cook y Johnson, 1989). Thielen (2003) señala que la cobertura de la vegetación de leñosas para Los Llanos del Orinoco puede responder a la dinámica histórica de pulsaciones de años, tanto secos como húmedos, de una forma contingente y significativa.

Los estudios paleoclimáticos señalan que los cambios en la biodiversidad están correlacionados con la variabilidad climática. Los CCAs pueden generar tanto un incremento como una disminución de la diversidad de especies (NRC-CACC, 2002). En todo caso, la desaparición de especies siempre ocurre a una tasa superior a la aparición de especies por evolución. Estudios recientes sugieren que la tasa de extinción de especies es en el orden de 100 a 1000 veces superior que aquella cuando los humanos no tenían el papel de especie dominante (Lawton y May, 1995; Vitousek *et al.*, 1997). Por ejemplo, en los últimos dos milenios, un cuarto de todas las especies de aves se han extinguido producto de la actividad del hombre (Olsen, 1989). Este incremento en la extinción de especies se debe en parte a que la misma ocurre en la escala temporal de la economía humana, mientras que la evolución es mucho más lenta, excepto para los microorganismos, incluidos aquellos que ocasionan enfermedades de importancia económica.

Impactos en los sistemas humanos

Uno de los impactos discutidos ampliamente en la bibliografía trata sobre aspectos relacionados a la salud pública. Escenarios basados en

modelos climáticos que consideran el calentamiento global señalan que ocurrirán cambios en la distribución geográfica de un gran número de enfermedades, entre ellas cólera, malaria, fiebre amarilla, dengue, schistosomiasis, leishmaniasis, etc. Estos cambios serían debidos principalmente a un incremento en las precipitaciones, con mayor disponibilidad de hábitat para vectores, huéspedes intermediarios y reservorios. La dinámica huésped-parásito no ha sido estudiada en detalle para un escenario de CCA, pero Daszak *et al.* (2001) sugieren tres fenómenos que señalan que un CCA puede producir un impacto muy importante en las principales enfermedades del hombre: 1) existe una fuerte relación entre El Niño y epidemias de la fiebre de Rift Valley, cólera, hantavirus y otras enfermedades, por lo que una intensificación del fenómeno generará epidemias más extensas y de mayor impacto; 2) la malaria ha reaparecido en gran cantidad de zonas altas de las regiones tropicales; y 3) eventos climáticos extremos recientes han acelerado irrupciones de diversas enfermedades, como el SARS y la influenza aviar, con potencialidad de alcanzar niveles de pandemia.

El impacto económico de las enfermedades emergentes humanas, del ganado y de los cultivos es enorme (USD 41MM/año; Daszak *et al.*, 2000). El incremento en la aparición de enfermedades producto de un CCA agravaría esta situación. Desde el punto de vista de la salubridad, las sociedades humanas actuales son especialmente vulnerables por su tendencia de habitar en grandes concentraciones urbanas, así como por la facilidad para la propagación de enfermedades por la rapidez con que las personas o los productos agrícolas y de consumo pueden ser trasladados desde puntos geográficos muy distantes.

La condición actual de sobrepoblación y de globalización de las interrelaciones de los sistemas humanos también es considerada insostenible desde otros aspectos. Como se mencionó, los impactos de los CCAs pasados pueden evidenciarse en la evolución histórica de las culturas y sociedades del hombre (NRC-CACC, 2002). Pero la historia también advierte que, a diferencia del pasado, los impactos de un CCA sobre las sociedades humanas pueden ser ahora muy dramáticos. Históricamente, el hombre sobrellevaba condiciones económicas y/o ambientales adversas a través de migraciones masivas a regiones más favorables. A lo largo de su historia y hasta mediados del

s. XX, las fronteras eran permeables a esas actividades contingentes. Por ejemplo, como resultado de la infestación de *Phytophthora infestans* en los cultivos de papa en Irlanda, hubo entre 1845 y 1847 una hambruna desastrosa y más de un millón de personas se vieron forzadas a emigrar, principalmente a los EEUU (NRC-CACC, 2002). Pero en la actualidad las fronteras son menos permeables, dificultando la migración de poblaciones para hacer frente a condiciones adversas tales como hambrunas o guerras civiles. Esta “impermeabilidad” de las fronteras puede ser particularmente severa para países pequeños o pobres, cuyas poblaciones por lo general no son bienvenidas en los países ricos, cerrando una de las más importantes válvulas de escape, la migración, empleada a lo largo de la historia para hacer frente a los impactos negativos sobre la economía por parte de la variabilidad climática y muy especialmente por parte de los CCAs.

Si bien el concepto de capacidad de carga es aplicado al estudio de los sistemas en general, Schwartz y Randall (2003) advierten que son los sistemas humanos los más vulnerables por su condición de sobrepoblación y de globalización de las interacciones. Las poblaciones humanas han alcanzado reiteradamente un límite superior de capacidad de carga en sus sistemas; avances tecnológicos lograron que la capacidad de carga del sistema se incrementara oportunamente, generando una sensación de bienestar suficiente para estimular un incremento contingente de la población. Los conflictos regionales e internacionales actuales, si bien presentan tintes religiosos, ideológicos o patrióticos son, en esencia, una lucha por el acceso a los recursos (energía, agua, biodiversidad). Esta es clara señal que los sistemas humanos se encuentran nuevamente en el límite superior de su capacidad de carga, y si bien es posible que los avances tecnológicos logren aún un reajuste en ésta, la velocidad de ocurrencia y la magnitud de las implicaciones de un eventual CCA hacen que el acceso a los recursos sea una variable importante en la seguridad de una nación y uno de los determinantes más importantes para la redefinición de un nuevo orden mundial.

Es probable que en los EEUU ya se hayan tomado iniciativas en ese sentido. En primer lugar, su retiro del Tratado de Kyoto pudiera responder a que una reducción de las emisiones de gases de invernadero solo tiene sentido cuando el objetivo es el de atenuar un calentamiento gradual del planeta.

Como se señaló, los modelos de simulación indican que un CCA pudiera potencialmente ocasionar un enfriamiento relativo de la temperatura global. Desde esta perspectiva, para un gobierno y aún para un Estado, no tendría sentido asumir los elevados costos económicos y políticos que representa la reducción de las emisiones de carbono, cuando existe la potencialidad de un CCA. Esta política de Estado estaría termodinámicamente justificada al considerar que siempre es más fácil calentar un planeta que tiende a enfriarse que enfriar uno que tiende a calentarse. Aparte de grupos vinculados al activismo ambiental, las presiones internacionales para que los EEUU se reincorporen al Tratado de Kyoto y prosiga con una estrategia de atenuación de cambio climático gradual han cesado. Un seguimiento por cambios en las políticas energéticas (*i.e.* desarrollo vía combustibles fósiles vs costos ecológicos de las emisiones de carbono) y una posible redefinición de estrategias geopolíticas por parte de otras potencias mundiales podrían confirmar la hipótesis expuesta.

Por otra parte, la condición actual de sobrepoblación global con respecto a la disponibilidad de los recursos, hace que una sociedad sea especialmente vulnerable a un CCA cuando sus estrategias de desarrollo presentan una dependencia creciente a recursos cada vez más globalizados espacialmente. Ante un escenario de CCA los EEUU estarían obligados a la adopción de una política internacional de corto plazo, muy activa y de resultados inmediatos. El malestar internacional que genera un Estado en particular por la adopción de una tal estrategia, estaría justificada, según Schwartz y Randall (2003), por el logro de una mitigación real de los efectos de un CCA sobre la capacidad de carga al lograr garantizar el acceso a los recursos; obviamente, para un sector y no toda la población mundial. Cabe mencionar que estos autores realizan sus consideraciones ante un escenario de CCA con efectos espacialmente globales en el término de 5 años; escenario que, según la NRC-CACC (2002), es avalado, en buena parte, por las evidencias científicas actuales.

Recomendaciones

Partiendo de la premisa que la incertidumbre que existe, y debe existir, en el análisis de los procesos que ocurren en un sistema tan complejo y amplio como el global, y de la precaución que se debe tomar en la inter-

pretación de las evidencias existentes, sin menoscabo de las consideraciones a que deben estar sujetas las importantes implicaciones de la ocurrencia de un CCA para los sistemas ecológicos, y por la ausencia de experiencias recientes para los humanos, se pueden resumir las siguientes recomendaciones y consideraciones:

1. Mejorar la capacidad predictiva de los modelos climáticos. Debe mejorarse el nivel de certidumbre de los procesos, especialmente de aquellos que ocurren por interacciones océano-atmósfera. Es importante la incorporación de una mayor base de datos paleoclimáticos, así como el uso de herramientas estadísticas más poderosas.
2. Mejorar los modelos predictivos de los impactos de un CCA. El estudio debe concentrarse en describir cómo sucedieron eventos de CCA pasados para mejorar la capacidad de identificar uno en el presente. Se requiere de estudios que evalúen los impactos ecológicos, económicos, sociales y políticos potenciales de un CCA y que lleven a una mejor comprensión, predicción y mitigación de posibles conflictos regionales e internacionales. Debe prestarse especial atención a los procesos que por una acción local afecten, por efecto “dominó”, un área de importante extensión.
3. Crear un sistema de medición de vulnerabilidad. Esto debe hacerse para cada país, y en base a las técnicas agrícolas actualmente empleadas, disponibilidad local de recursos, acceso a la tecnología, cohesión social y adaptabilidad.
4. Identificar estrategias sin remordimiento (“no-regret strategies”). Cada país deberá establecer las estrategias que permitan asegurar el acceso a los recursos ante cualquier escenario de cambio.
5. Explorar opciones de geoingeniería que permitan controlar el clima. Esto llevará a una revalorización de las emisiones antropogénicas de CO₂ en respuesta a que ya no se trata de mitigar un calentamiento global gradual sino de ¡calentar ahora un planeta que tenderá a enfriarse!

Consideraciones para la Comunidad Científica

La potencial ocurrencia de un CCA, representa un reto para todas las disciplinas de la ciencia. Un primer paso requerirá la evaluación, redefinición, revalorización y hasta la erradicación de muchos de los actuales

paradigmas científicos y sociales; el de cambio climático es un paradigma que ya está siendo sujeto a este inevitable proceso. Desafortunadamente, a lo largo de la historia, la comunidad científica se ha visto aislada o enquistada en su propio conocimiento y no ha podido o querido exteriorizarlo con la velocidad suficiente y ser competitiva en el ambiente multidimensional en el que operan o pudieran operar realmente los procesos naturales y, en consecuencia, los sociales. Son muchas las implicaciones que genera la adopción de un nuevo paradigma o, al menos, su reevaluación. Cambios en los paradigmas exigen un consenso substancial en la comunidad científica, algo que no se ha logrado hasta el presente por existir formidables obstáculos para ello. El primero es que un nuevo paradigma representa un cambio mayor y la resistencia al cambio es parte de la naturaleza humana. Un factor es un explicable y saludable escepticismo científico donde se requiere de pruebas y que aquellos involucrados sean convencidos objetivamente, algo básico para el método científico. Pero existe otro factor aún más potente; los científicos y académicos que han construido sus carreras y reputaciones alrededor de un viejo paradigma se resisten al cambio. Muchos tienen una inversión profesional y psicológica en el *statu quo* y, consecuentemente, ven los cambios como una amenaza o repudio a sus trabajos de investigación. Aunque se supone que la ciencia opera de forma objetiva, individualmente los científicos pueden proceder de una forma bastante subjetiva, por lo que lograr un consenso ante un nuevo paradigma, o la reformulación de uno preexistente, no será tarea fácil.

Pero ¿de cuánto tiempo se dispone realmente para entender los procesos?, ¿cuáles son los escenarios reales de cambio, su dirección y magnitud?, ¿de cuánto tiempo dispondría la comunidad científica, en cada caso, para generar el conocimiento necesario que ayude a las sociedades a enfrentar sus efectos? Estas preguntas no han tenido la atención inmediata de la ciencia, que ha marchado a su propio ritmo y al de cada una de sus disciplinas. Sin duda, de ocurrir un CCA, sus implicaciones obligarían a los "decision makers" a actuar en consecuencia, y no esperarían por un consenso en la opinión científica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a los colegas del Instituto

Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y del Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAIE) de la Universidad de Los Andes (ULA), por sus acertados comentarios y observaciones. Los temas discutidos fueron presentados en los ciclos de conferencias del RICAS-Venezuela, Facultad de Ciencias, ULA, eventos financiados por el IAI (CRN-040) y por el FONACIT (Agenda Biodiversidad N° 98003404).

REFERENCIAS

- Alley RB, Clark PU (1999) The deglaciation of the Northern Hemisphere: A global perspective. *Annu. Rev. Earth Pl. Sc.* 27: 149-182.
- Barber DC, Dyke A, Hillaire-Marcel C, Jennings AE, Andrews JT, Kerwin MW, Bilodeau G, McNeely R, Southon J, Morchead MD, Gagnon JM (1999) Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature* 400: 344-348.
- Boyle EA (2000) Is ocean thermohaline circulation linked to abrupt stadial/interstadial transitions? *Quaternary Sci. Rev.* 19: 255-272.
- Broccoli JA, Manabe S (1987) The influence of continental ice, atmospheric CO₂, and land albedo on the climate of the last glacial maximum. *Clim. Dynam.* 1: 87-99.
- Broecker WS (1997) Thermoaline circulation, the Achilles heel of our climate system: Will man-made CO₂ upset the current balance? *Science* 278: 1582-1588.
- Broecker WS, Andree M, Wolfli W, Oeschger H, Bonani G, Kennett J, Petter D (1988) The chronology of the last deglaciation: Implications to the cause of the *Younger Dryas* event. *Paleoceanography* 3: 1-19.
- Capel-Molina JJ (1999) *El Niño y el sistema climático terrestre*. Ariel. Barcelona, España. 154 pp.
- Casarim DP (1983) *Um estudo observacional sobre os sistemas de bloqueio no hemisfério sul*. INPE. São José dos Campos, Brasil. 69 pp.
- Clement AC, Seager R, Cane MA (2000) Suppression of El Niño during the mid-Holocene by changes in the Earth's orbit. *Paleoceanography* 15: 731-737.
- Cook ER, Johnson AH (1989) Climate change and forest decline: A review of the red spruce case. *Water Air Soil Poll.* 48: 127-140.
- Daszak P, Cunningham AA, Hyatt AD (2000) Conservation conundrum - Response. *Science* 288: 2320.
- Daszak P, Cunningham AA, Hyatt AD (2001) Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife. *Acta Trop.* 78: 103-116.
- Easterling DR, Mechl GA, Parmesan C, Changnon SA, Karl TR, Mearns LO (2000) Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science* 289: 2068-2074.
- Fawcett PJ, Agústsdóttir AM, Alley RB, Shuman CA (1997) *The Younger Dryas* termination and North Atlantic deep water formation: Insights from climate model simulations and Greenland ice cores. *Paleoceanography* 12: 23-38.

- Fletcher JO (1969) *Controlling the planet's climate*. Impact of Science on Society XIX, 2. UNESCO. París, Francia. 188 pp.
- Freile AJ (1969) Regiones climáticas de Venezuela. *Bol. Geol.* 10: 1-156.
- Ganachaud A, Wunsch C (2000) Improved estimates of global ocean circulation, heat transport and mixing from hydrographic data. *Nature* 408: 453-457.
- Gill RB (2000) *The Great Maya Droughts: Water, Life and Death*. University of New Mexico Press. Albuquerque, NM, EEUU. 484 pp.
- Goldbrunner AW (1976) *El Clima de Venezuela y su Clasificación*. Fuerza Aérea Venezolana, Ministerio de la Defensa. Caracas, Venezuela. 60 pp.
- Hepting GH (1963) Climate and forest disease. *Annu. Rev. Phytopathol.* 1: 31-50.
- Hodell DA, Curtis JH, Brenner M (1995) Possible role of climate in the collapse of Classic Maya civilization. *Nature* 375: 391-394.
- Hou AY, Lindzen RS (1992) The influence of concentrated heating of the Hadley circulation. *J. Atmos. Sci.* 49: 1233-1241.
- Hughen KA, Overpeck JT, Peterson LC, Trunbore S (1996) Rapid climate changes in the tropical Atlantic region during the last deglaciation. *Nature* 380: 51-54.
- IPCC (1990) *Scientific Assessment of Climate Change - Report of Working Group I*. Houghton JT, Jenkins GJ, Ephraums JJ (Eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, RU. 365 pp.
- IPCC (1995) *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Houghton JT, Meira Filho LG, Callender BA, Harris N, Kattenberg A, Maskell K (Eds.). Cambridge University Press. Cambridge, RU. 572 pp.
- IPCC (2001) *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Xiaosu D (Eds.). Cambridge University Press. Cambridge, RU. 944 pp.
- Lang C, Leuenberger M, Schwander J, Johnsen S (1999) 16 degrees C rapid temperature variation in Central Greenland 70,000 years ago. *Science* 286: 934-937.
- Lawton JH, May RM (Eds.) (1995) *Extinction Rates*. Oxford University Press. Oxford, RU. 248 pp.
- Lindzen RS, Hou AY (1988) Hadley circulations for zonally averaged heating centered off the equator. *J. Atmos. Sci.* 45: 2416-2427.
- Manabe S, Broccoli AJ (1985) The influence of continental ice sheets on the climate of an ice age. *J. Geophys. Res.* 90: 2167-2190.
- Manabe S, Stouffer RJ (1988) Two stable equilibria of a coupled ocean atmosphere model. *J. Climate* 1: 841-866.
- Manion PD (1991) *Tree Disease Concepts*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, EEUU. 402 pp.
- Martelo MT (2002) *Influencia de las Variables Macroclimáticas en el Clima de Venezuela*. Trabajo de Ascenso. Facultad de Agro-

- nomía. Universidad Central de Venezuela. 192 pp.
- Moreau A, Deffit R (1979) *Las Precipitaciones en Los Llanos: Génesis y Aprovechamiento*. Escuela de Geografía, Universidad Central de Venezuela. 215 pp.
- Muron ND (2003) Small game, the *Younger Dryas*, and the transition to agriculture in the southern levant. *Mitt. G. Urgechichte* 12: 47-71.
- NAST (2000) *Climate Change Impacts on the United States: The Potential Consequences of Climate Variability and Change*. National Assessment Synthesis Team. Cambridge University Press. Nueva York, NY EEUU. 612 pp.
- NOAA (2003) *Cambio Climático*. National Oceanographic and Atmospheric Administration. <http://wdc.crieyt.edu.ar/paleo/es/>
- NRC-CAAC (2002) *Abrupt Climate Change: Inevitable Surprises*. Committee on Abrupt Climate Change (CACC). National Research Council. National Academy Press. Washington, DC, EEUU. 238 pp.
- NRC-CGCR (1989) *Global Change and Our Common Future: Pares from a Forum*. Committee on Global Climate Research (CGCR). National Research Council. National Academy Press. Washington, DC, EEUU. 244 pp.
- NRC-CGCR (1990) *Research Strategies for the U.S. Global Change Research Program*. National Research Council. National Academy Press. Washington, DC, EEUU. 294 pp.
- NRC-CGCR (1999) *Global Environmental Change: Research Pathways for the Next Century*. National Research Council. National Academy Press. Washington, DC, EEUU. 603 pp.
- Olsen SLK (1989) Extinction on islands: man as a catastrophe. En Western D, Pearl MC (Eds.) *Conservation for the Twenty First Century*. Oxford University Press. Nueva York EEUU. pp. 50-53.
- Peteet DM (2000) Sensitivity and rapidity of vegetational response to abrupt climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 97: 1359-1361.
- Pickett ST, White PS (Eds.) (1985) *The Ecology of Natural Disturbances and Patch Dynamics*. Academy Press. San Diego, CA, EEUU. 472 pp.
- Pierrehumbert RT (2000) Climate change and the tropical Pacific: The sleeping dragon wakes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 97: 1355-1358.
- Precht H, Christophersen J, Hensel H, Larcher W (1973) *Temperature and Life*. Springer. Nueva York, EEUU. 779 pp.
- Sarnthein M, Winn K, Jung SJA, Duplessy JC, Labeyrie L, Erlenkeuser H, Ganssen G (1994) Changes in east Atlantic deepwater circulation over the last 30,000 years: Eight time slice reconstruction. *Paleoceanography* 9: 209-267.
- Schwartz P, Randall D (2003) *An Abrupt Climate Change Scenario and its Implications for United States National Security: Imagining the Unthinkable*. www.ems.org/climate/pentagon_climate_change.pdf
- Seager R, Battisti DS, Yin J, Gordon N, Naik N, Clement AC, Cand MA (2002) Is the Gulf Stream responsible for Europe's mild winters? *Quart. J. Rol. Meteor. Soc.* 128: 2563-2586.
- Thielen DR (2003) *Tendencias de la precipitación y la dinámica espacial y temporal de la vegetación leñosa en una sabana estacional del Neotrópico*. Tesis. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 227 pp.
- Tinner W, Lotter AF (2001) Central European vegetation response to abrupt climate change at 8.2 ka. *Geology* 29: 551-554.
- Vitousek PM, Mooney HA, Lubchenco J, Melillo JM (1997) Human domination of earth's ecosystems. *Science* 277: 494-499.
- Walker LR, Willing MR (1999) An Introduction to terrestrial disturbance en Walker LR (Ed.). *Ecology of Disturbed Ground*. Elsevier. Amsterdam, Holanda. pp. 1-16.
- Weiss H, Courty MA, Wetterstrom W, Senior L, Meadow R, Guichard F, Curnow A (1993) The genesis and collapse of third millenium North Mesopotamian civilization. *Science* 261: 995-1004.
- Wirth T, Gray CB, Podesta J (2003) An Energy Strategy for the Future. *Foreign Aff.* July/August. pp. 132-155.
- WHOI (2003) *Abrupt Climate Change*. Woods Hole Oceanographic Institution www.whoi.edu/institutes/occi/currenttopics/ct_abrupt-climate.htm
- Woodward FI (1987) *Climate and Plant Distribution*. Cambridge University Press. Cambridge, RU. 174 pp.

GRADUAL VS. ABRUPT: THE NEED TO BETTER DEFINE THE CLIMATE CHANGE PARADIGM AND THOSE OF THE NATURAL AND SOCIAL PROCESSES

Dirk R. Thielen and Rafael Lairer Centeno

SUMMARY

Mankind has a historical perception of climatic stability. However, the evidence demonstrates a different reality. The gathered information shows that abrupt changes have occurred and have modeled not only natural processes but also its own history. An abrupt climatic change induces adaptive difficulties in all systems. In recent years, studies illustrate possible effects on world

climatic conditions derived from alterations on the North Atlantic Thermohaline Circulation. This paper discusses recent studies highlighting the most important aspects to the scientific community, so as to allow a new perception about the climatic change paradigm and its effects on the perception of a global climatic change.

GRADUAL VS. ABRUPTO: NECESSIDADE DE DEFINIR MELHOR O PARADIGMA DOS CÂMBIOS CLIMATICOS E DOS PROCESSOS NATURAIS Y SOCIAIS

Dirk R. Thielen e Rafael Lairer Centeno

RESUMO

O ser humano tem tido uma percepção histórica da estabilidade climática. No entanto a realidade é outra. Os registros indicam que os câmbios abruptos têm ocorrido e amoldaram não só os procesos naturais mais também a sua propia história. Um câmbio climático abrupto provoca uma dificuldade de adaptação em todos os sistemas. Atualmente avalúam-se os efeitos duma

posível alteração da termohalina do Atlântico Norte no clima a nível global. Este trabalho estabelece a evidencia recente ressaltando os aspectos mais impactantes para a comunidade científica, permitindo o redimensionamento do paradigma do câmbio climático nos câmbios globais, focalizando integramente a problema.