

The text that follows is a PREPRINT.

Please cite as:

Fearnside, P.M. 2011. La vulnerabilidad de la selva amazónica frente a los cambios climáticos. In: S. Peniche Campos (ed.) *Memorias del II Seminario Internacional sobre la cuenca del río Santiago (SICRS)*. Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas (CUCEA), Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. (in press).

Copyright: Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas (CUCEA),
Universidad de Guadalajara

The original publication will be available from: Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas (CUCEA), Universidad de Guadalajara

LA VULNERABILIDAD DE LA SELVA AMAZÓNICA FRENTE A LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS

Philip M. Fearnside

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA). C.P. 478. Manaus, Amazonas, Brasil. CEP: 69.011-970.
E-mail: pmfearn@inpa.gov.br

RESUMEN

LA VULNERABILIDAD DE LA SELVA AMAZÓNICA FRENTE A LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS. La selva amazónica enfrenta serias amenazas para su sobrevivencia debido a los cambios globales proyectados convirtieron la Amazonía más caliente y seca. Este efecto es mucho más intenso en simulaciones de clima global usando modelos que incluyen la conexión entre el calentamiento del agua en el océano Pacífico y la ocurrencia del fenómeno El Niño. Eventos como los incendios en Roraima en 1997/1998 y 2003 indican que la conexión con El Niño es real. Los impactos son peores en modelos que incluyen las retroalimentaciones bioesféricas, con la muerte del bosque y el calentamiento de los suelos llevando a la emisión de carbono que, a su vez, calienta más el clima y mata más bosque. Una amenaza climática que antes no era apreciada se reveló en 2005, cuando una sequía devastadora afectó a la Amazonía. Este tipo de sequía se debe a un gradiente de temperatura del agua de la superficie del mar entre el Atlántico Norte y el Atlántico Sur, que hace parte de una oscilación que se está intensificando. La formación de la mancha de agua caliente en el Atlántico Norte se está agravando debido a la reducción de las cargas de aerosol sobre el mar en esta área, situación que debe intensificarse en las próximas décadas como resultado de la continuación del calentamiento global. La concretización, o no, de un escenario de este tipo depende de decisiones humanas sobre la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto de la quema de combustibles fósiles como de la continuación de la deforestación. Brasil es uno de los países que perdería mas con el calentamiento global, con la propia selva amazónica estando en riesgo. Por lo tanto, Brasil debe cambiar de lado en las negociaciones bajo la Convención del Clima. Al contrario de siempre intentar posponer el compromiso con una meta para reducir sus emisiones, Brasil debe asumir inmediatamente una meta frente a la Convención (no solo de forma interna), adhiriéndose al Anexo I de la Convención y al Anexo B del Protocolo de Kyoto, sino pasando a impulsarla y a convencer a los otros países, como China e India, a hacer lo mismo.

Palabras clave: Amazonía, calentamiento global, carbono, ciclo del agua, deforestación, efecto invernadero, El Niño, reducción de emisiones.

ABSTRACT

THE VULNERABILITY OF THE AMAZON FOREST IN THE FACE OF CLIMATE CHANGE. The Amazon forest is threatened by ongoing climate changes, which are expected to make this region gradually hotter and drier. These effects are more intense in global climate simulations by models that connect peaks in the temperature of surface water in the Pacific Ocean with the El Niño phenomenon. Past events such as the fires in Roraima of 1997/1998 and 2003 suggest that the connection between the Pacific Ocean-surface temperature and El Niño is real. The estimated impact of climate changes on the Amazon are even worse in models that include biospheric feedback effects, pointing to the disappearance of forested areas and subsequent heating of the exposed soil which leads to greater carbon emissions that further affect climate and kill more forest. A previously unappreciated climatic threat became apparent in 2005, when a devastating drought struck Amazonia. This type of drought is linked to a gradient of water temperature from the North to the South Atlantic

Oceans, which is part of an oscillation that is becoming more intense. The formation of the patch of warm water in the tropical North Atlantic is worsening due to the reduction of aerosol loads over this area of the ocean, a situation that is expected to intensify in the forthcoming decades as a result of continued global warming. Whether such a scenario will come to take place depends on our efforts towards limiting the emission of greenhouse gases from fossil-fuel combustion and deforestation. Brazil is among the countries with the most to lose from global warming, possibly risking the loss of the Amazon rainforest. Therefore, Brazil ought to change political sides in negotiations under the Climate Convention. Instead of trying to postpone any commitment to reductions in its emissions, Brazil should immediately agree to a reduction target under the Convention (not only as an internal objective), thus joining the Convention's Annex I and Kyoto Protocol's Annex B, and then endeavor to convince other countries, such as China and India, to do likewise.

Keywords: Amazonia, global warming, carbon, water cycling, deforestation, greenhouse effect, El Niño, emissions reduction.

PREDICCIONES DE MODELOS DE CLIMA

Diferentes modelos climáticos producen una gama extensiva de resultados para el clima futuro en la Amazonía. Un modelo en particular, el modelo del Centro Hadley, del Centro de Meteorología del Reino Unido, indica un cambio catastrófico para un clima más seco y caliente en la Amazonía, resultando en la muerte de casi toda la selva hasta 2080 (Cox *et al.*, 2000, 2004). En la época del Cuarto Informe de Evaluación (AR-4) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), de 2007, varios otros modelos indicaban que la Amazonía se haría significativamente más seca, entre estos el modelo del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR), de los EEUU, y el modelo ECHAM del Instituto Max Planck, de la Alemania. Algunos modelos, como el del CSIRO, de la Australia, no indicaban ningún cambio en la Amazonía, mientras un modelo, del Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos (GFDL), en los EEUU, indicaba más lluvia en la Amazonía (vea Kundzewicz *et al.*, 2007, pág. 183). La indicación de aumento de lluvia en la Amazonía en el modelo del GFDL era el resultado de un error en el modelo que ya fue arreglado (S.M. Griffies, comunicación personal, 2009). Mismo así, los resultados son bastante variados, y es importante evaluar los modelos diferentes para el propósito específico de representar el clima futuro en la Amazonía, así como también considerar la mejor manera de interpretar para la política el significado de la incerteza restante.

Los resultados catastróficos del modelo del Centro Hadley fueron publicados por la primera vez en la revista *Nature* en 2000. Es extremadamente inquietante que diez años de trabajo intensivo de varios grupos de investigación no haya identificado un error específico que invalidaría este resultado, aunque los resultados de los otros modelos sean comparativamente menos catastróficos. Un poco de confort para nosotros deriva del hecho de que el modelo Hadley indica un clima actual en la Amazonía que es más caliente y más seco de que es el real clima de hoy (Cândido *et al.*, 2007). Esto significa que, probablemente, son exagerados también los valores numéricos para temperatura y seca en el clima futuro simulado. Sin embargo, el clima futuro simulado va tanto por allá de los límites de tolerancia de árboles de la selva amazónica que, mismo si los cambios sean menos extremos de que las simulaciones indican, también causaría una gran mortalidad.

EL NIÑO Y EL EFECTO INVERNADERO

La pregunta central a respecto de los resultados del modelo del Centro Hadley para la Amazonía es si su representación de los efectos del fenómeno El Niño está correcta. En este

modelo, la continuación del calentamiento global lleva al sistema climático a permanecer en un “El Niño permanente”, resultando en severas sequías y calor en la Amazonía. Solamente parte de esta secuencia es mostrada por otros modelos.

El Painel Intergubernamental sobre Cambio Climática (IPCC) observó en su Segundo Informe de Evaluación, de 1995, que la frecuencia de eventos El Niño fue mucho más alta desde 1976 en comparación con los años anteriores, una diferencia estadística altamente significativa (Nicholls *et al.*, 1996, pág. 165). Eventos recientes, como los El Niños de 1997 y 2003, causarán importantes impactos en la Amazonía.

El Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR-4), de 2007, concluyó que la continuación del calentamiento global conduciría a la formación de “condiciones tipo El Niño” (Meehl *et al.*, 2007, pág. 779). Esto se refiere a las aguas superficiales más calientes en el Océano Pacífico, que es el gatillo para El Niño. Sin embargo, el informe del IPCC observa que los varios modelos de clima aún no concuerdan en una conexión entre el calentamiento global y El Niño en sí (Meehl *et al.*, 2007, pág. 780). Esto se refiere a las sequías e inundaciones en locales diferentes alrededor del mundo.

Infelizmente, sabemos de forma directa que condiciones tipo El Niño conducen a las sequías y incendios forestales en la Amazonía; esta no es una conclusión que depende de los resultados de modelos de clima. Las sequías de El Niño en 1982, 1997 y 2003 nos dan ejemplos que son recordados por la mayoría de las personas en la Amazonía. El gráfico de las temperaturas de la superficie del mar en el Océano Pacífico (Hansen *et al.*, 2006; McPhaden *et al.*, 2006) es un retrato perfecto de eventos de sequía en la Amazonía. La ilustración usada por Al Gore en su película “Una Verdad Inconveniente” es altamente pertinente. De la misma manera que los continentes de África y de América del Sur se ajustan demasiado perfectamente para ser una coincidencia, los gráficos de CO₂ atmosférico y de temperatura global espejarse uno en el otro tan bien que debe haber una relación entre los dos. Lo mismo se aplica para temperatura de la superficie del mar en el Pacífico y secas amazónicas. Esto significa que una tabulación simple de los resultados de diferentes modelos de clima no es suficiente. Si un modelo muestra el agua superficial calentándose en el Pacífico, mas nada sucediendo en la Amazonía, entonces significa que hay algo faltando en el modelo, no que estamos más seguros en la Amazonía.

El Niño es un fenómeno que es difícil de representar en modelos de circulación global (GCMs), en parte por causa de la resolución espacial grosera que es dictada por la capacidad de procesamiento de la mayoría de los supercomputadores de hoy. Sin embargo, es inquietante que el Simulador de la Tierra, un complejo enorme de computadores en Yokohama, Japón, también produzca resultados catastróficos cuando programado con una física de clima semejante a la del modelo del Centro Hadley. Picos de temperaturas en la Amazonía central de más de 50°C se harían comunes a partir de 2050 en escenarios *business-as-usual*. El Simulador de la Tierra representa el planeta en células de grade (“píxeles”) de 10 × 10 km, cuando otros computadores que ejecutan GCMs usan células de grade de aproximadamente 300 × 300 km.

El Niño produce un padrón de inundaciones y sequías alrededor del mundo, con pesadas lluvias en la costa del Perú, sequía en la parte Norte de la Amazonía (por ejemplo, el Gran Incendio de Roraima de 1997-1998), inundaciones en el Estado de Santa Catarina, sequía en Borneo (que también provocó incendios en 1997-1998), sequía en la Etiopía (que mató más de 200,000 personas en 1982) y calor en la Europa (que mató aproximadamente 40,000 personas en 2003). Lograr un modelo de clima para representar todos estos efectos simultáneamente cuando el agua del Pacífico calienta es una tarea difícil, y esta dificultad explica porque los modelos diferentes actualmente no corresponden entre sí. Sin embargo, del punto de vista de la sequía amazónica, solamente necesitamos representar esta parte del padrón global correctamente, y no el resultado en todos los otros locales que también son

afectados por El Niño. En esto, el modelo del Centro Hadley hace la mejor reproducción de la conexión entre agua caliente en el Pacífico (*i.e.*, “condiciones tipo El Niño”) y sequías amazónicas. Entre 21 modelos testados para esta capacidad por el Proyecto en Conjunto de Inter-Comparación de Modelos (CMIP2), el modelo del Centro Hadley fue clasificado en primero lugar (vea Cox *et al.*, 2004).

OSCILACIÓN ATLÁNTICA

Una amenaza climática que antes no era apreciada se reveló en 2005, cuando una sequía devastadora golpeó la Amazonía. Los caudales en los afluentes del lado Sur del Río Amazonas fueron tan bajos que embarcaciones no pudieron navegar en los ríos, y comunidades ribereñas quedaron aisladas de hospitales y otros servicios esenciales. Incendios forestales quemaron en el Estado de Acre y en partes vecinas del Estado de Amazonas, un evento sin precedentes (Brown *et al.*, 2006; Vasconcelos & Brown, 2007). La foresta perdió biomasa por causa de la disminución del crecimiento y del aumento de la mortalidad de árboles (Phillips *et al.*, 2009). El año de 2005 no fue un año de El Niño: a envés de agua más caliente que lo normal en el Pacífico, había agua caliente en la parte Sur del Atlántico Norte y agua frío en la parte Norte del Atlántico Sur. El agua caliente en el Atlántico Norte dio energía al Huracán Katrina, que golpeó la ciudad de Nueva Orleans en ese año. También contribuyó para la sequía en la Amazonía por causar una mayor subida de aire caliente cuando la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ) se encontraba sobre el área de agua caliente. El aire en la ITCZ sube hasta una altitud de aproximadamente 1,800 m, se divide en flujos para el Norte y para el Sur, y entonces se mueve en el sentido de los polos por aproximadamente 30° de latitud antes de descender al nivel del suelo y retornar para el Ecuador en baja altitud, formando la célula de Hadley. Cuando el aire sube, su contenido de humedad condensa y cae como lluvia, y después, cuando el aire baja al nivel del suelo, es seco, y reseca el área alcanzado por el aire descendiente. Con más aire caliente y húmedo subiendo en la ITCZ en 2005, hubo también más aire frío y seco descendiente 30° más al Sur. Con el gradiente de temperatura entre el agua caliente en el Atlántico Norte y frío en el Atlántico Sur, la ITCZ fue jalada más al Norte que el habitual y, en la época del año cuando el movimiento estacional de la ITCZ fue cerca de su extremo Norte, el aire seco estaba descendiendo sobre las nacientes de los afluentes del Río Amazonas, del lado Sur de la cuenca (*e.g.*, Fearnside, 2006a; Marengo *et al.*, 2008).

El agua caliente del Atlántico Norte en 2005 fue el resultado combinado de varios factores. Uno era la Oscilación Multi-Decadal del Atlántico (AMO), que produjo agua más caliente que la media en esta área en intervalos de aproximadamente 40 años. Sin embargo, esta oscilación explica, en el máximo, 11% de la anomalía de temperatura en 2005, en cuanto que 50% del aumento de la temperatura podrían ser directamente atribuidos al calentamiento global (Trenberth & Shea, 2006). Hube también una contribución indirectamente conectada al calentamiento global, de 22%, proveniente de vestigios de un período de El Niño en los años anteriores. Además, la reducción de la carga de aerosoles atmosféricos sobre el Atlántico resultó en menos protección de esta área de océano contra la radiación solar. La carga de aerosoles está disminuyendo tanto debido a la reducción de la polución atmosférica industrial en la Europa y América del Norte (Cox *et al.*, 2008) como debido a la reducción de la carga de polvo oriundo de la África (Evan *et al.*, 2009). Las cargas reducidas de aerosol son responsables por 69% de la tendencia ascendente en la temperatura de la superficie del mar en esta región entre 1985 y 2005, período en que la temperatura del agua aumentó en 0.6°C (Evan *et al.*, 2009). Esta reducción de aerosol es consistente con resultados modelados de calentamiento global, que indican que la duplicación del CO₂ atmosférico pre-industrial (prevista para ocurrir en 2070, o antes, presumiendo emisiones en los niveles de *business-as-*

usual) reduciría la cobertura de polvo sobre el Atlántico en 40-60% y aumentaría las temperaturas de la superficie del mar en 0.3 a 0.4°C adicionales (Mahowald & Luo, 2003).

El gradiente Norte-Sur de temperatura en el Atlántico está significativamente correlacionado con las lluvias en la porción Sudoeste de la Amazonía y, en 2005, tanto el gradiente en el Atlántico como la sequía en el sudoeste de la Amazonía llegaron hasta niveles extremos (Cox *et al.*, 2008). Resultados del modelo del Centro Hadley indican un aumento enorme en la amplitud del gradiente de temperatura en el Atlántico y en las sequías asociadas en la Amazonía, si las emisiones de gases de efecto invernadero continuaren su camino actual (Cox *et al.*, 2008). Los resultados de simulación indican que la probabilidad de una sequía tan grave como la de 2005 fue de 5% (1 año en 20) en 2005, mas esto aumentaría para 50% (1 año en 2) hasta 2025 y 90% (9 años en 10) hasta 2060. La probabilidad de ocurrencia de estas sequías salta para arriba si la concentración atmosférica de CO₂ fuera superior a 400 partes por millón por volumen (ppmv), un nivel solamente poco superior al nivel de 2010 de 390 ppmv. Las concentraciones atmosféricas de CO₂ están aumentando en cerca de 2.4 ppmv al año.

SABANIZACIÓN DE LA AMAZONÍA

La pérdida de grandes áreas de foresta amazónica debido a los cambios climáticos no depende del modelo del Centro Hadley ser la mejor representación del clima futuro. Salazar *et al.* (2007) testaron 15 modelos diferentes para las implicaciones para la “sabanización” en la Amazonía. Más de 75% de los modelos indican que una faja que hoy es foresta al largo de las extremidades Este y Sur de la región será climáticamente impropia para foresta hasta 2100, llevando a la sustitución de árboles por otro tipo de vegetación, generalmente denominado como “sabana”. Al menos 25% de los modelos indican un cambio de este tipo en toda la parte de la región amazónica al Este de Manaos. El modelo del Centro Hadley, es claro, mostraría que la sabanización ocurriría en toda la foresta amazónica brasileña en este tiempo.

Los varios modelos de clima, inclusive el modelo del Centro Hadley, omiten varios procesos críticos que pueden hacer con que los eventos reales sean hasta más desastrosos de que aquellos indicados por los modelos. Los modelos solamente muestran los efectos del calentamiento global, mas la foresta amazónica está sujeta a otros factores de tensión. El más obvio es la deforestación directa, con derribada de árboles por moto-sierras en lugar de muerte por falta de agua. Esto no solamente elimina los árboles que son derribados directamente, mas también contribuye con los otros cambios climáticos que refuerzan las mismas tendencias al clima más caliente y más seco para el resto de la foresta, por lo tanto contribuyendo con la muerte de la foresta como un todo. La pérdida de árboles reduce la evapotranspiración, reduciendo la lluvia sobre el resto de la foresta (*e.g.*, Lean *et al.*, 1996). Dos recientes simulaciones indican que la pérdida continua de foresta conduciría a un clima más caliente y más seco en el resto de la región (Foley *et al.*, 2007; Sampaio *et al.*, 2007). Si la deforestación seguir los padrones espaciales proyectados, una caída abrupta de la cantidad de lluvia en la estación seca ocurriría después que la deforestación llegar a 40% (Sampaio *et al.*, 2007). Hasta 2009, la deforestación había removido 18.6% de la floresta original en la Amazonía brasileña (Brasil, INPE 2010). La estación seca es el período crítico del año cuando árboles pueden morir por falta de agua.

Incendios forestales representan una gran amenaza para las forestas amazónicas y, son omitidos de los GCMs como el modelo del Centro Hadley. Especialmente en años El-Niño, fuegos pueden moverse por el sub-bosque de la foresta, matando grandes árboles. En el Gran Incendio de Roraima de 1997-1998, una área calculada en 11-13,000 km² de foresta fue quemada (Barbosa & Fearnside, 1999). Áreas grandes de foresta también quemaron en el

Estado de Pará (Alencar *et al.*, 2004, 2006; Cochrane *et al.*, 1999). Los árboles muertos por los fuegos subministra combustible para fuegos subsecuentes, así conduciendo a procesos de retroalimentación positiva que destruyen la foresta completamente al largo de un período de varios años (*e.g.*, Nepstad *et al.*, 2001). Una vez que puede ser esperado que el cambio de clima aumente la frecuencia y la severidad de incendios, la foresta podría estar muerta más rápidamente de que los modelos indican. Un estudio reciente indica pérdida significativa de foresta por incendios antes de 2030 bajo la suposición optimista de que los padrones de clima de los últimos 10 años continuaren inalterados (Nepstad *et al.*, 2007). Los actuales padrones de variación climática en la Amazonía implican en riesgo para grandes áreas de foresta (Hutry *et al.*, 2005; Nepstad *et al.*, 2004).

El modelo del Centro Hadley fue el primero a incluir “retroalimentaciones bióticas”, donde el carbono liberado de la mortalidad de foresta y del calentamiento del suelo es incluido en el cálculo del efecto invernadero futuro, que, a cambio, conduzca a mayor liberación de carbono bioesférico terrestre. Con el modelo del Centro Hadley, la temperatura media global en 2100 es 38% más alta si las retroalimentaciones bióticas son incluidas. A causa de que solamente aproximadamente un quinto de los 20 modelos usados por el AR-4 del IPCC tendrían la capacidad para incluir retroalimentaciones bióticas, esta parte de todos los modelos fue desactivada en las ejecuciones usadas para las estimativas del IPCC de la temperatura global (*i.e.*, el aumento de 4°C encima de la temperatura pre-industrial até 2100 bajo el escenario “A-2” que mejor aproxima las tendencias actuales). Con certeza, las evaluaciones futuras del IPCC incorporarán estas retroalimentaciones, en las cuales la Amazonía desempeña un papel principal.

RIESGO E INCERTEZA

Las predicciones de clima futuro indican riesgo considerable para la Amazonía, así como una incerteza significativa. La manera en que estos dos factores están incorporados en decisiones sobre políticas públicas puede hacer una gran diferencia en las acciones tomadas y, consecuentemente, en la sobrevivencia de la foresta amazónica.

Incerteza se refiere a la falta de conocimiento sobre valores de los parámetros o sobre las verdaderas probabilidades de cada resultado diferente suceder. La existencia de incerteza ha sido usada repetidamente para evitar la tomada de difíciles decisiones sobre el cambio climático. El caso más notorio es la negativa tradicional del entonces presidente de los EEUU, George W. Bush, en reconocer la existencia del efecto invernadero, así justificando su rechazo en asumir compromisos específicos para reducir las emisiones. El Brasil adoptó una posición semejante cuando el informe del IPCC sobre los impactos de cambio climático fue aprobado en Bruselas en abril de 2007, haciendo una tentativa sin éxito para retirar del sumario del informe para formuladores de política la mención del riesgo de sabanización en la Amazonía (*Folha de São Paulo*, 2007). Mientras que los gobiernos se niegan en admitir la existencia de un problema no hay ninguna necesidad de acciones serias para evitar el problema.

En el caso de la contribución de Brasil para la emisión de gases del efecto invernadero por medio de deforestación, hubo una larga historia de estimativas oficiales que suavizan o minimizan la magnitud e importancia de este factor (vea Fearnside, 1997, 2000). La incerteza es frecuentemente invocada para justificar omisiones. Por ejemplo, la estimativa oficial de las emisiones de Brasil en la Comunicación Nacional sometida a la Convención Cuadro de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UN-FCCC), en diciembre de 2004, no contabilizó el carbono en las raíces de los árboles por razones de incerteza (Brasil, MCT, 2004, pág. 148). Esto, por si solo, aumentaría las emisiones en aproximadamente 20%, en el caso de foresta Amazónica, y en más que el doble de esto en el caso del cerrado (la sabana de Brasil

central). Una serie de factores o son omitidos completamente o son representados por valores optimistas improbables (ver Fearnside & Laurance, 2004).

La mayor parte de lo que es discutido con relación a los cambios climáticos, inclusive en los informes del IPCC, es exclusivamente basada en medias o estimativas “más probables”. El caso “más probable” significa que hay una probabilidad de 50% que el valor real sea igual o menor que la estimativa. Sin embargo, el otro lado de esta moneda es que existe una probabilidad de 50% de que el valor real sea más alto, y quizás mucho más alto. ¿Que debería ser la respuesta para esta incerteza en términos de política? El principio de precaución indicaría que políticas deberían ser conservadoras para asegurar que umbrales críticos no serían ultrapasados. En otras palabras, menos deforestación debería ser permitida y las emisiones globales de gases de efecto invernadero deberían ser limitadas en niveles más bajos que aquellos que serían indicados por modelos usando valores “medios” o “más probables”.

Además de la incerteza asociada al clima en la Amazonía, hay incerteza considerable relativa al sistema climático global. Un factor clave que determina la severidad de los impactos del calentamiento global es la “sensibilidad climática”, o la cantidad por la cual la temperatura media global en equilibrio aumentaría como resultado de una duplicación de la concentración de CO₂ pre-industrial de 280 ppmv. Bajo escenarios del tipo *business-as-usual* ésta duplicación ocurre hasta 2070. El “probable” valor para sensibilidad climática es aproximadamente 3°C, pero existe una probabilidad de 50% que el verdadero valor sea más alto que esto y la posibilidad de que es mucho más alto es significativa. Un valor de 6.2°C necesitaría ser usado para tener 95% de certeza de que el valor real esté incluido (Hegerl *et al.*, 2006). La proyección de una elevación de 4°C de la temperatura media global sobre los niveles pre-industriales hasta 2100 es basada en una sensibilidad climática de cerca de 3°C. Esto también es verdad para las varias simulaciones de sabanización en la Amazonía.

El peligro de usar valores medios o “más probables” en las decisiones sobre eventos catastróficos puede ser ilustrado por un ejemplo simple. Imagine que alguien que vive en un edificio de departamento fuese preguntado para un ingeniero si el edificio desmoronará y caerá al suelo, como el Edificio Palace II, que desmoronó en Rio de Janeiro en 1998. ¿Si el ingeniero respondiese que es “probable” que el edificio continúe de pie, el residente preocupado quedaría satisfecho? ¡Claramente la respuesta es “no”, ya que puede haber, por ejemplo, una probabilidad de 51% del edificio continuar de pie, sin embargo hay una probabilidad de 49% que se desmorone! Seguramente una persona que vive en el edificio, para quien un colapso sería catastrófico, necesitaría de una probabilidad mucho mayor que 99% de que el edificio permanezca de pie. Cuanto más catastrófico el resultado, más garantía es requerida de que la catástrofe no sucederá. Eventos como la muerte de la foresta amazónica serían catastróficos para el Brasil, y, por lo tanto, el Brasil debería estar demandando cortes más profundos en las emisiones globales totales. No obstante, al envés de esto, la posición del Brasil fue una negativa durante años para especificar un límite sobre las emisiones globales.

La UN-FCCC, firmada en 1992 en Rio de Janeiro en el ECO-92, tiene como objetivo la estabilización de concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero en niveles que evitarían interferencia “peligrosa” con el sistema climático global (UN-FCCC, 1992, Artículo 2). Negociaciones están en curso para definir lo que sería “peligroso” en términos de una concentración máxima de gases de efecto invernadero equivalente a CO₂ o un valor máximo correspondiente de elevación de la temperatura global. En marzo de 2005, la Unión Europea adoptó 2°C de aumento de la temperatura global sobre la media pre-industrial como la definición de “peligroso”. Esto corresponde aproximadamente a los límites de tolerancia de la foresta amazónica. Solamente en julio de 2009 el Presidente Luiz Inácio Lula da Silva endosó este objetivo general durante la reunión del G-8 en Áquila, Italia. ¿Por qué, entonces, el

Brasil esperó hasta que más de 100 países hubiesen adoptado este límite? La respuesta, evidentemente, es que adoptar un límite significa que todos los países, inclusive el Brasil, tendrían que hacer reales reducciones en sus emisiones. Un límite global en términos de concentración o en términos de temperatura significa que todas las emisiones han que quedar dentro del límite, independientemente de si ellas son antropogénicas o naturales, si ellas son intencionales o accidentales, y si ellas vienen de países ricos o pobres.

Brasil debería estar en la delantera en hacer compromisos para reducir las emisiones porque es uno de los países más pesadamente afectados por cambios climáticos proyectados, y por causa de su posición casi única de tener el grueso de sus emisiones viniendo de deforestación, que contribuye poco a la economía. Al envés de esto, el Ministerio de las Relaciones Exteriores de Brasil constantemente ha negado a asumir cualquier compromiso internacional para reducir las emisiones. Tradicionalmente se ha negado mismo fijar metas internas para reducción de las emisiones, pero en 2009 el Ministerio de las Relaciones Exteriores admitió, dentro de en breve, "acciones cuantificables" en la reducción de las emisiones (*Folha de São Paulo*, 2009). Aunque, etiquetadas como "metas" por la prensa, no se refieren a compromisos internacionales bajo la Convención de Clima, ni a "metas" que impliquen en consecuencias caso no sean cumplidas. Las afirmaciones repetidas del gobierno de que la deforestación esté bajo control deberían conducir al gobierno a estar dispuesto a asumir compromisos para reducir la deforestación y sus emisiones asociadas. Aunque la deforestación esté menos de que "bajo control" de lo que implica la disminución en la tasa de deforestación en 61% entre 2004 y 2009 (Fearnside, 2009a), mucho podría ser hecho para reducir la deforestación si fuese dado al problema la prioridad que el merece (*e.g.*, Fearnside, 2005). El costo de tales acciones podría ser compensado fácilmente por el valor de las emisiones que serian evitadas si la deforestación fuese reducida y si el Brasil vendiese créditos de carbono de esta fuente que fuesen válidos para compromisos internacionales (*e.g.*, Fearnside, 2006b). Las contribuciones brasileñas a las Conferencias de las Partes (COPs) de la UN-FCCC comenzando en 2006 por lo menos abrirán las puertas a la discusión de este asunto previamente considerado un tabú. Los gobernadores de los nueve estados de la Amazonía Legal brasileña ya pidieron en carta al Presidente de la República, que la posición brasileña sea cambiada para "inclusión de las florestas en el mercado de carbono regulado por Kyoto" (*O Estado de São Paulo*, 2009). Debido al sistema climático llevar décadas para responder a las reducciones de emisiones, no hay tiempo para perder si es para contener la amenaza a la foresta amazónica debido al cambio climático.

AGRADECIMENTOS

Este texto es una traducción actualizada de Fearnside (2009b). Las investigaciones del autor son financiadas por el Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA (PRJ13.03) y el Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq (305880/2007-1; 573810/2008-7). Karina Moreyra hizo comentarios.

REFERENCIAS

- ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.C. & VERA DIAZ, M. del C. 2006. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: area burned and committed carbon emissions. *Earth Interactions*, 10(6): 1-17.
- ALENCAR, A.C.; SOLÓRZANO, L.A. & NEPSTAD, D.C. 2004. Modeling forest understory fires in an eastern Amazonian landscape. *Ecological Applications*, 14(4): S139-S149.

- BARBOSA, R.I. & FEARNSSIDE, P.M. 1999. Incêndios na Amazônia brasileira: Estimativa da emissão de gases do efeito estufa pela queima de diferentes ecossistemas de Roraima na passagem do evento "El Niño" (1997/98). *Acta Amazonica*, 29(4): 513-534.
- BRASIL, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2010. Projeto PRODES: Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite. INPE, São José dos Campos, São Paulo, Brasil. (Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>).
- BRASIL, MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia), 2004. *Brazil's Initial National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Ministry of Science and Technology (MCT), Brasília, DF, Brasil, 271p.
- BROWN, I.F.; SCHROEDER, W.; SETZER, A.; MALDONADO, M.J.R.; PANTOJA, N.; DUARTE, A.F. & MARENGO, J. 2006. Monitoring fires in Southwestern Amazonia rain forest. *EOS, Transactions of the American Geophysical Union*, 87(26): 253-264.
- CÂNDIDO, L.A.; MANZI, A.O.; TOTA, J.; DA SILVA, P.R.T.; DA SILVA, F.S.M.; dos SANTOS, R.N.N. & CORREIA, F.W.S. 2007. O Clima atual e futuro da Amazônia nos Cenários do IPCC: A questão da savanização. *Ciência e Cultura*, 59(3): 44-47.
- COCHRANE, M.A.; ALENCAR, A.; SCHULZE, M.D.; SOUZA JR., C.M.; NEPSTAD, D.C.; LEFEBVRE, P. & DAVIDSON, E.A. 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. *Science*, 284: 1832-1835.
- COX, P.M.; BETTS, R.A.; COLLINS, M.; HARRIS, P.P.; HUNTINGFORD, C. & JONES, C.D. 2004. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology*, 78: 137-156, doi: 10.1007/s00704-004-0049-4.
- COX, P.M.; BETTS, R.A.; JONES, C.D.; SPALL, S.A. & TOTTERDELL, I.J. 2000. Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model. *Nature*, 408: 184-187.
- COX, P.M.; HARRIS, P.P.; HUNTINGFORD, C.; BETTS, R.A.; COLLINS, M.; JONES, C.D.; JUPP, T.E.; MARENGO, J.A. & NOBRE, C.A. 2008. Increasing risk of Amazonian drought due to decreasing aerosol pollution. *Nature*, 453: 212-215.
- EVAN, A.T.; VIMONT, D.J.; HEIDINGER, A.K.; KOSSIN; J.P. & BENNARTZ, R. 2009. The role of aerosols in the evolution of tropical North Atlantic ocean temperature anomalies. *Science*, 324: 778-781.
- FEARNSSIDE, P.M. 1997. Monitoring needs to transform Amazonian forest maintenance into a global warming mitigation option. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2(2-3): 285-302.
- FEARNSSIDE, P.M. 2000. Effects of land use and forest management on the carbon cycle in the Brazilian Amazon. *Journal of Sustainable Forestry*, 12(1-2): 79-97.
- FEARNSSIDE, P.M. 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates and consequences. *Conservation Biology*, 19(3): 680-688.
- FEARNSSIDE, P.M. 2006a. A vazante na Amazônia e o aquecimento global. *Ciência Hoje*, 38(231): 76-78.
- FEARNSSIDE, P.M. 2006b. Mitigation of climatic change in the Amazon. p. 353-375. In: W.F Laurance & C.A. Peres, (eds.), *Emerging Threats to Tropical Forests*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois, EEUU. 563p.

- FEARNSIDE, P.M. 2009a. Brazil's evolving proposal to control deforestation: Amazon still at risk. *Environmental Conservation* 36 (3): 176-179. doi: 10.1017/S0376892909990294
- FEARNSIDE, P.M. 2009b. A vulnerabilidade da floresta amazônica perante as mudanças climáticas. *Oecologia Brasiliensis* 13(4): 609-618. doi: 10.4257/oeco.2009.1304.05.
- FEARNSIDE, P.M. & LAURANCE, W.F. 2004. Tropical deforestation and greenhouse gas emissions. *Ecological Applications*, 14(4): 982-986.
- FOLEY, J.A.; ASNER, G.P.; COSTA, M.H.; COE, M.T.; DEFRIES, R.; GIBBS, H.K.; HOWARD, E.A.; OLSON, S.; PATZ, J.; RAMANKUTTY, N. & SNYDER, P. 2007. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1): 25-32.
- FOLHA DE SÃO PAULO. 2007. "Conclusão de texto envolve debate intenso", 06 Apr. de 2007, p. A-14.
- FOLHA DE SÃO PAULO. 2009. "Itamaraty confirma que Brasil terá meta contra aquecimento", 12 de Aug. de 2009, p.A-16.
- HEGERL, G.C.; CROWLEY, T.J.; HYDE, W.T. & FRAME, D.J. 2006. Climate sensitivity constrained by temperature reconstructions over the past seven centuries. *Nature*, 440: 1029-1032.
- HANSEN, J.; SATO, M.; RUEDY, R.; LEA, D.W. & MEDINA-ELIZADE, M. 2006. Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 203(39): 14288-14293.
- HUTYRA, L.R.; MUNGER, J.W.; NOBRE, C.A.; SALESKA, S.R.; VIEIRA, S.A. & WOFSY, S.C. 2005. Climatic variability and vegetation vulnerability in Amazonia, *Geophysical Research Letters*, 32, L24712, doi: 10.1029/2005GL024981.
- KUNDZEWICZ, Z.W.; MATA, L.J.; ARNELL, N.W.; DÖLL, P.; KABAT, P.; JIMÉNEZ, B.; MILLER, K.A.; OKI, T.; SEN, Z. & SHIKLOMANOV, I.A. 2007. Freshwater resources and their management. p. 173-210 In: Parry, M.L.; Canziani, O.F.; Palutikof, J.P.; van der Linden, P.J.; Hanson, C.E. (eds.). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 976p.
- LEAN, J.; BUNTON, C.B.; NOBRE, C.A. & ROWNTREE, P.R. 1996. The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. p. 549-576. In: J.H.C. Gash, C.A. Nobre, J.M. Roberts & R.L Victoria (eds.), *Amazonian Deforestation and Climate*. Wiley, Chichester, Reino Unido, 611p.
- MAHOWALD, N.M. & LUO, C. 2003. A less dusty future? *Geophysical Research Letters*, 30(17): 1903, doi: 10.1029/2003GL017880.
- MARENGO, J.A.; NOBRE, C.A.; TOMASELLA, J.; OYAMA, M.D.; SAMPAIO de OLIVEIRA, G.; de OLIVEIRA, R.; CAMARGO, H.; ALVES, L.M. & BROWN, I.F.. 2008. The drought of Amazonia in 2005. *Journal of Climate*, 21: 495-516.
- MCPHADEN, M.J.; ZEBIAK, S.E. & GLANTZ, M.H. 2006. ENSO as an integrating concept in earth science. *Science*, 314: 1740-1745.
- MEEHL, G.A.; STOCKER, T F.; COLLINS, W.D.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GAYE, A.T.; GREGORY, J M.; KITO, A.; KNUTTI, R.; MURPHY J M.; NODA, A.; RAPER, S.C B.; WATTERSON, I.G. ; WEAVER, A.J. & ZHAO, Z-C. 2007. Global Climate Projections. p.

247-845 In: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller, (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 996p.

NEPSTAD, D.C.; CARVALHO, G.; BARROS, A.C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J.P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA, JR., U.L. & PRINS, E. 2001. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, 154: 395-407.

NEPSTAD, D.C.; LEFEBVRE, P.; SILVA Jr., U.L.; TOMASELLA, J.; SCHLESINGER, P.; SOLORZANO, L.; MOUTINHO, P.; RAY, D. & BENITO, J.G. 2004. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. *Global Change Biology*, 10(5): 704-712.

NEPSTAD D.C.; SOARES-FILHO, B.; MERRY, F.; MOUTINHO, P.; RODRIGUES, H.O.; BOWMAN, M.; SCHWARTZMAN, S.; ALMEIDA, O. & RIVERO, S. 2007. The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest Degradation in the Brazilian Amazon. Woods Hole Research Center (WHRC), Falmouth, Massachusetts, EEUU. 26p.

NICHOLLS, N. & 98 otros. 1996. Observed climate variability and change. p. 133-192 In: J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg & K. Maskell, (eds.), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 572p.

O ESTADO DE SÃO PAULO, 2009. “Amazônia pede a Lula nova política para floresta”, 01 de Julio de 2009, p. A-20.

PHILLIPS, O.L. & 65 otros. 2009. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science*, 323: 1344-1347.

SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A. & OYAMA, M.D. 2007. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 34: L09708, doi: 10.1029/2007GL029695.

SAMPAIO, G.; NOBRE, C.A.; COSTA, M.H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B.S. & CARDOSO, M. 2007. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, 34: L17709, doi:10.1029/2007GL030612.

TRENBERTH, K.E. & SHEA, D.J. 2006. Atlantic hurricanes and natural variability in 2005. *Geophysical Research Letters*, 33: L12704, doi: 10.1029/2006GL026894.

VASCONCELOS, S.S. & BROWN, I.F. 2007. The use of hot pixels as an indicator of fires in the MAP region: Tendencies in recent years in Acre, Brazil. p. 4549-4556. In: J.C.N. Epiphanyo, L.S. Galvão & L.M.G. Fonseca, (eds.), *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil 21-26 abril 2007*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

UN-FCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change. (Disponível em <http://www.unfccc.de>).
