

The text that follows is a REPRINT
O texto que segue é um REPRINT.

Please cite as:

Favor citar como:

Fearnside, P.M. 2012. La vulnerabilidad de la selva amazónica frente a los cambios climáticos. pp. 15-31 In: S. Peniche Camps, F. González González, E. Macías Franco, M. Guzmán Arroyo & G. Zavala García (eds.) *II Seminario Internacional sobre la Cuenca del Río Santiago: El Cambio Climático*. Centro Universitario de Ciencias Económico-Administrativas (CUCEA), Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 220 pp.

ISBN: 978-607-450-579-5.

Copyright: Universidad de Guadalajara

The original publication is available from:

A publicação original está disponível de:

Universidad de Guadalajara

Centro Universitario de Ciencias Económico Administrativas

Periférico Norte núm. 799, Núcleo Los Belenes.

C.P. 45100 Zapopan, Jalisco, México

1

La vulnerabilidad de la selva amazónica frente a los cambios climáticos

Philip M. Fearnside¹

Resumen

La selva amazónica enfrenta serias amenazas para su sobrevivencia, debido a que los cambios globales proyectados hicieron a la Amazonia más caliente y seca. En simulaciones de clima global realizadas se puede observar que este efecto es mucho más intenso 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, que interconectan la muerte del bosque y el calentamiento de los suelos, que lleva a una mayor 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 Amazonia.

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

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

causa 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 perderían más con el calentamiento global, con la propia selva amazónica en riesgo. Por lo tanto, Brasil debe cambiar de bando en las negociaciones de la Convención del Clima. Al contrario de 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 1 de la Convención y al Anexo B del Protocolo de Kyoto, y pasar a impulsarla y a convencer a los otros países, como China e India, a hacer lo mismo.

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

Predicciones de modelos de clima

Diferentes modelos climáticos producen una gama extensiva de resultados para el clima futuro en la Amazonia. Un modelo en particular, el del Centro Hadley, del Centro de Meteorología del Reino Unido, indica un cambio catastrófico para un clima más seco y caliente en la Amazonia, que resultará en la muerte de casi toda la selva para 2080 (Cox et al., 2000, 2004). En el Cuarto Informe de Evaluación (AR-4) del Panel Intergubernamental sobre cambio climático (IPCC), de 2007, varios otros modelos indicaban que la Amazonia se haría significativamente más seca. Entre estos, figuran el modelo del Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR), de los Estados Unidos, y el modelo ECHAM del Instituto Max Planck, de Alemania. Algunos modelos, como el del CSIRO, de Australia, no indicaban ningún cambio en la Amazonia, mientras un modelo, del Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos (GFDL), en los Estados Unidos, indicaba más lluvia en la Amazonia (Kundzewicz et

al., 2007, 183). La indicación de aumento de lluvia en la Amazonia en el modelo del GFDL era el resultado de un error en el modelo que ya fue corregido (S. M. Griffies, comunicación personal, 2009). Como se puede notar, los resultados son bastante variados, y es importante evaluar los modelos diferentes para el propósito específico de representar el clima futuro en la Amazonia, así como también considerar la mejor manera de interpretarlos.

Los resultados catastróficos del modelo del Centro Hadley fueron publicados por primera vez en la revista *Nature* en 2000. Es extremadamente inquietante que diez años de trabajo intensivo de varios grupos de investigación no hayan identificado un error específico que invalidaría este resultado, aunque los resultados de los otros modelos sean comparativamente menos catastróficos. Resulta favorable que el modelo Hadley indica un clima actual en la Amazonia más caliente y más seco de lo real (Cândido et al., 2007). Esto significa que, probablemente, son exagerados también los valores numéricos para temperatura en el clima futuro simulado. Sin embargo, el clima futuro simulado excede los límites de tolerancia de árboles de la selva amazónica, por lo que si, los cambios son menores de lo que se indica en las simulaciones, también causarían una gran mortalidad.

El Niño y el efecto invernadero

La pregunta central con respecto a los resultados del modelo del Centro Hadley para la Amazonia es si su representación de los efectos del fenómeno El Niño es correcta. En este modelo, la continuación del calentamiento global lleva al sistema climático a permanecer en un “El Niño permanente” que resulta en graves sequías y calor en la Amazonia. Solamente parte de esta secuencia es mostrada por otros modelos.

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (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, 165). Eventos recientes, como los El Niño de 1997 y 2003, causaron importantes impactos en la Amazonia.

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, 779). Esto se refiere a las aguas superficiales más calientes en el Océano Pacífico, que es el detonante para El Niño. Sin embargo, el informe del IPCC indica 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, 780). Esto se refiere a las sequías e inundaciones en locales diferentes alrededor del mundo.

Desgraciadamente, sabemos de forma directa que condiciones tipo El Niño conducen a las sequías y los incendios forestales en la Amazonia; 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 Amazonia. 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 Amazonia. 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 América del Sur se ajustan demasiado perfectamente para ser una coincidencia, los gráficos de CO₂ atmosférico y de temperatura global se corresponden directamente uno con 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, sin repercusiones para la Amazonia, significa que hay algo que falta en el modelo, no que estamos más seguros en la Amazonia.

El Niño es un fenómeno difícil de representar en modelos de circulación global (GCM), en parte por la resolución espacial agregada, que es dictada por la capacidad de procesamiento de la mayoría de las supercomputadoras de hoy. Sin embargo, es inquietante que el Simulador de la Tierra, un complejo enorme de computadoras en Yokohama, Japón, también produzca resultados catastróficos cuando es programado con una física de clima semejante a la del modelo del Centro Hadley. Picos de temperaturas en la Amazonia central de más de 50°C se harían co-

munes a partir de 2050 en escenarios *business-as-usual*. El Simulador de la Tierra representa el planeta en píxeles de 10×10 km, cuando otras computadoras que ejecutan GCM usan píxeles de aproximadamente 300×300 km.

El Niño produce un patrón de inundaciones y sequías alrededor del mundo, con pesadas lluvias en la costa del Perú, sequía en la parte norte de la Amazonia (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 Etiopía (que mató más de 200,000 personas en 1982) y calor en 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 se calienta es una tarea difícil, lo que explica por qué los diferentes modelos no corresponden entre sí. Sin embargo, desde el punto de vista de la sequía amazónica, solamente necesitamos representar esta parte del patrón global correctamente, y no el resultado en todos los otros lugares 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 analizados para esta capacidad por el Proyecto en Conjunto de Inter-Comparación de Modelos (CMIP2), el modelo del Centro Hadley fue clasificado en primer lugar (Cox et al., 2004).

Oscilación atlántica

Una amenaza climática que antes no era apreciada se reveló en 2005, cuando una sequía devastadora golpeó la Amazonia. Los caudales en los afluentes del lado sur del río Amazonas fueron tan bajos que las 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, lo que generó un evento sin precedentes (Brown et al., 2006; Vasconcelos y Brown, 2007). La selva perdió biomasa por causa de la disminución aumento de la mortalidad de árboles (Phillips et al., 2009). El año 2005 no fue un año de El Niño: en lugar de tener agua más

caliente que lo normal en el Pacífico, había agua caliente en la parte Sur del Atlántico Norte y agua fría 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 a la sequía en la Amazonia 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 30º 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 se 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 30º 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 de lo 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 (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 que el 50% del aumento de la temperatura podría ser directamente atribuido al calentamiento global (Trenberth y Shea, 2006). Hubo 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 del 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 y Luo, 2003).

El gradiente Norte-Sur de temperatura en el Atlántico está significativamente correlacionado con las lluvias en la porción sudoeste de la Amazonia y, en 2005, tanto el gradiente en el Atlántico como la sequía en el sudoeste de la Amazonia 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 Amazonia, si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan 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 del 5% (un año en veinte) en 2005, más esto aumentaría al 50% (un año en dos) hasta 2025 y el 90% (nueve años en diez) hasta 2060. La probabilidad de ocurrencia de estas sequías salta hacia 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 Amazonia

El modelo del Centro Hadley, con sus predicciones sobre la pérdida de grandes áreas de selva amazónica debido a los cambios climáticos, no proporciona la mejor representación del clima futuro. Salazar et al. (2007) probaron quince modelos diferentes para analizar las implicaciones para la “sabanización” en la Amazonia. Más del 75% de los modelos indican que una franja que hoy es selva a lo largo de los extremos este y sur de la región será climáticamente impropia para el establecimiento de bosques hacia 2100, lo que llevará a la sustitución de árboles por otro

tipo de vegetación, generalmente denominado como sabana. Al menos el 25% de los modelos indican un cambio de este tipo en toda la parte de la región amazónica al este de Manaus. El modelo del Centro Hadley mostraría que la sabanización ocurriría en toda la selva amazónica brasileña en este tiempo.

Los diversos modelos de clima, inclusive el modelo del Centro Hadley, omiten varios procesos críticos que pueden hacer que los eventos reales sean hasta más desastrosos de los indicados por los modelos. Los modelos solamente muestran los efectos del calentamiento global, pero la selva amazónica está sujeta a otros factores de tensión. El más obvio es la deforestación directa, con derribo de árboles por moto sierras en lugar de muerte por falta de agua. Esto no solamente elimina los árboles que son derribados directamente, sino también contribuye a los otros cambios climáticos que refuerzan las mismas tendencias al clima más caliente y más seco para el resto del bosque, por lo tanto contribuye a la muerte de los bosques como un todo. La pérdida de árboles reduce la evapotranspiración, lo que reduce la lluvia sobre el resto de la vegetación (Lean et al., 1996). Dos recientes simulaciones indican que la pérdida continua de biomasa 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 sigue los patrones espaciales proyectados, una caída abrupta de la cantidad de lluvia en la estación seca ocurriría después que la deforestación llegue al 40% (Sampaio et al., 2007). Hasta 2009, la deforestación había removido el 18.6% de la selva original en la Amazonia brasileña (Brasil, INPE 2010). La estación seca es el período crítico del año, cuando los árboles pueden morir por falta de agua.

Los incendios forestales representan una gran amenaza para los bosques amazónicos, y son omitidos de los GCM como el modelo del Centro Hadley. Especialmente en años de El Niño, los fuegos pueden moverse por el sub-bosque de la selva, matando grandes árboles. En el gran incendio de Roraima de 1997-1998, un área calculada en 11-13,000 km² de selva fue quemada (Barbosa y Fearnside, 1999). Áreas grandes de selva también se quemaron en el estado de Pará (Alencar et al., 2004, 2006; Cochrane et al., 1999). Los árboles muertos por los fuegos suministran combustible para fuegos subsecuentes, así conduciendo a procesos de retroalimentación positiva que destruyen la selva completamente a lo

largo de un período de varios años (Nepstad et al., 2001). Una vez que se puede esperar que el cambio de clima aumente la frecuencia y la gravedad de los incendios, la selva podría desaparecer más rápidamente de lo que los modelos indican. Un estudio reciente indica pérdida significativa de selva por incendios antes de 2030, bajo la suposición optimista de que los patrones de clima de los últimos diez años continúen inalterados (Nepstad et al., 2007). Los actuales patrones de variación climática en la Amazonia implican en riesgo para grandes áreas de selva (Hutyra et al., 2005; Nepstad et al., 2004).

El modelo del Centro Hadley fue el primero en incluir retroalimentaciones bióticas, donde el carbono liberado de la mortalidad de selva y del calentamiento del suelo se incluye en el cálculo del efecto invernadero futuro, que, a cambio, conducirá 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 se incluyen. A causa de que solamente aproximadamente uno de cada cinco de los veinte 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 hasta 2100 bajo el escenario “A-2” que mejor aproxima las tendencias actuales). Con seguridad, las evaluaciones futuras del IPCC incorporarán estas retroalimentaciones, en las cuales la Amazonia desempeña un papel principal.

Riesgo e incertidumbre

Las predicciones de clima futuro indican riesgo considerable para la Amazonia, así como una incertidumbre 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 supervivencia de la selva amazónica.

La incertidumbre se refiere a la falta de conocimiento sobre valores de los parámetros o sobre las verdaderas probabilidades de que suceda cada resultado diferente. La existencia de incertidumbre ha sido usada

repetidamente para evitar la toma de difíciles decisiones sobre el cambio climático. El caso más notorio es la negativa tradicional del entonces presidente de los Estados Unidos, George W. Bush, a reconocer la existencia del efecto invernadero, justificando de esa manera su rechazo a asumir compromisos específicos para reducir las emisiones. Brasil adoptó una posición semejante cuando el informe del IPCC sobre los impactos de cambio climático se aprobó en Bruselas en abril de 2007. Las autoridades brasileñas intentaron retirar del sumario del informe la mención al riesgo de sabanización en la Amazonia (*Folha de São Paulo*, 2007). Lo peligroso aquí es que, mientras que los gobiernos se nieguen a admitir la existencia de un problema no habrá ninguna necesidad de acciones serias para evitar el problema.

En el caso de la contribución de Brasil a la emisión de gases de efecto invernadero por medio de deforestación, hay una larga lista de estimados oficiales que suavizan o minimizan la magnitud y la importancia de este factor (Fearnside, 1997, 2000). La incertidumbre es frecuentemente invocada para justificar omisiones. Por ejemplo, el estimado 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 incertidumbre (Brasil, MCT, 2004, 148). Esto, por sí solo, aumentaría las emisiones en aproximadamente 20%, en el caso de la selva Amazónica, y en más del doble en el caso de El Cerrado (la sabana de Brasil central). Un conjunto de factores se omiten completamente o son representados por valores optimistas improbables (ver Fearnside y Laurance, 2004).

La mayor parte de lo que se discute con relación a los cambios climáticos, inclusive en los informes del IPCC, se basa exclusivamente en medias o estimativas “más probables”. El caso “más probable” significa que hay una probabilidad del 50% de que el valor real sea igual o menor que la estimada. Sin embargo, el otro lado de esta moneda es que existe una probabilidad del 50% de que el valor real sea más alto, y quizás mucho más alto. ¿Cuál debería ser la respuesta para esta incertidumbre en términos de política? El principio de precaución indicaría que las políticas deberían ser conservadoras para asegurar que no se traspasen umbrales críticos. En otras palabras, se debería permitir menos deforestación, y las

emisiones globales de gases de efecto invernadero deberían limitarse en niveles más bajos que aquellos que serían indicados por modelos usando valores “medios” o “más probables”.

Además de la inseguridad asociada al clima en la Amazonia, hay considerable incertidumbre con respecto al sistema climático global. Un factor clave que determina la gravedad 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*, esta duplicación ocurre hacia 2070. El “probable” valor para sensibilidad climática es aproximadamente 3°C, pero existe una probabilidad del 50% de que el verdadero valor sea más alto que esto, y la posibilidad de que sea mucho más alto es significativa. Se necesitaría usar valor de 6.2°C para tener el 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 se basa en una sensibilidad climática de cerca de 3°C. Esto también es verdad para las varias simulaciones de sabanización en la Amazonia.

El peligro de usar valores medios o “más probables” en las decisiones sobre eventos catastróficos se puede ilustrar por un ejemplo simple. Imagine que alguien que vive en un edificio de apartamentos fuera a preguntar a un ingeniero si el edificio se desmoronará y caerá al suelo, como el edificio Palace II, que se desmoronó en río de Janeiro en 1998. Si el ingeniero respondiera 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 del 51% de que el edificio continúe de pie; sin embargo, ¡hay una probabilidad del 49% de que se desmorone! Seguramente una persona que vive en el edificio, para quien un colapso sería catastrófico, necesitaría de una probabilidad mucho mayor que el 99% de que el edificio permanezca de pie. Cuanto más catastrófico el resultado, más garantía se necesita de que la catástrofe no sucederá. Eventos como la muerte de la selva amazónica serían catastróficos para Brasil y, por lo tanto, Brasil debería demandar cortes más profundos en las emisiones globales totales. No obstante, a

cambio de esto, la posición de Brasil fue una negativa durante años para especificar un límite sobre las emisiones globales.

La UN-FCCC, firmada en 1992 en río de Janeiro en el ECO-92, tiene como objetivo la estabilización de concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero en niveles que evitarían una interferencia “peligrosa” en el sistema climático global (UN-FCCC, 1992, artículo 2). Están en curso negociaciones 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 selva amazónica. Solamente en julio de 2009 el presidente Luíz Inácio Lula da Silva endosó este objetivo general durante la reunión del G-8 en Áquila, Italia. ¿Por qué, entonces, 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 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 son antropogénicas o naturales, si son intencionales o accidentales, y si 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 a causa de su posición casi única de tener el grueso de sus emisiones procedentes de deforestación (lo que contribuye poco a la economía). En cambio, el Ministerio de Relaciones Exteriores de Brasil constantemente se ha negado a asumir cualquier compromiso internacional para reducir las emisiones. Tradicionalmente se ha negado a fijar metas internas para la reducción de las emisiones, pero en 2009 el Ministerio de Relaciones Exteriores admitió la implementación inmediata de “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 del Clima, ni a “metas” que impliquen consecuencias en caso de no ser 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 que “bajo control” (de lo que implica la disminución en la tasa de deforestación en 61% entre 2004 y 2009, Fearnside, 2009a), mucho podría hacerse para reducir la deforestación si se le diera al problema la prioridad que merece (Fearnside, 2005). El costo de tales acciones podría ser compensado fácilmente por el valor de las emisiones que se evitarían si la deforestación fuera reducida y si Brasil vendiera créditos de carbono de esta fuente (Fearnside, 2006b). Las contribuciones brasileñas a las Conferencias de las Partes (COP) 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 Amazonia legal brasileña ya pidieron en carta al Presidente de la República que la posición brasileña se cambie para “inclusión de las selvas en el mercado de carbono regulado por Kyoto” (*O Estado de São Paulo*, 2009). Debido a que podría llevar décadas al sistema climático responder a las reducciones de emisiones, no hay tiempo que perder si es serio el intento de contener la amenaza a la selva amazónica debida al cambio climático.

Agradecimientos

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.

Bibliografía

Alencar, A.; Nepstad, D. C. y M. del C. Vera Díaz (2006), “Forest Understory Fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO Years: Area Burned and Committed Carbon Emission”, *Earth Interactions*, 10(6), pp. 1-17.

- Alencar, A. C.; Solórzano, L. A. y D. C. Nepstad (2004), "Modeling Forest Understory Fires in an Eastern Amazonian Landscape", *Ecological Applications*, 14(4), pp. S139-S149.
- Barbosa, R. I. y P. M. Fearnside (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 Amazônica*, 29 (4), pp. 513-534.
- Brasil, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (2010), "Projeto PRODES: Monitoramento da Selva 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, Brasil.
- Brown, I. F.; Schroeder, W.; Setzer, A.; Maldonado, M. J. R.; Pantoja, N.; Duarte, A. F. y J. Marengo (2006), "Monitoring Fires in Southwestern Amazonia Rain Forest. EOS", *Transactions of the American Geophysical Union*, 87(26), pp. 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. y F. W. S. Correia (2007), "O clima atual e futuro da Amazônia nos cenários do IPCC: A questão da savanização", *Ciência e Cultura*, 59(3), pp. 44-47.
- Cochrane, M. A.; Alencar, A.; Schulze, M. D.; Souza J. R., C. M.; Nepstad, D. C.; Lefebvre, P. y E. A. Davidson (1999), "Positive Feedbacks in the Fire Dynamic of Closed Canopy Tropical Forests", *Science*, 284, pp. 1832-1835.
- Cox, P. M.; Betts, R. A.; Collins, M.; Harris, P. P.; Huntingford, C. y C. D. Jones (2004), "Amazonian Forest Dieback under Climate-carbon Cycle Projections for the 21st Century", *Theoretical and Applied Climatology*, 78, pp. 137-156, doi: 10.1007/s00704-004-0049-4.
- Cox, P. M.; Betts, R. A.; Jones, C. D.; Spall, S. A. e I. J. Totterdell (2000), "Acceleration of Global Warming due to Carbon-cycle Feedbacks in a Coupled Climate Model", *Nature*, 408, pp. 184-187.
- Cox, P. M.; Harris, P. P.; Huntingford, C.; Betts, R. A.; Collins, M.; Jones, C. D.; Jupp, T. E.; Marengo, J. A. y C. A. Nobre (2008), "Increasing Risk of Amazonian Drought due to Decreasing Aerosol Pollution", *Nature*, 453, pp. 212-215.
- Evan, A. T.; Vimont, D. J.; Heidinger, A. K.; Kossin, J. P. y R. Bennartz (2009), "The role of aerosols in the evolution of tropical North Atlantic ocean temperature anomalies", *Science*, 324, pp. 778-781.

- Fearnside, 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), pp. 285-302.
- Fearnside, 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), pp. 79-97.
- (2005), "Deforestation in Brazilian Amazonia: History, Rates and Consequences", *Conservation Biology*, 19(3), pp. 680-688.
- (2006a), "A vazante na Amazônia e o aquecimento global", *Ciência Hoje*, 38(231), pp. 76-78.
- (2006b), "Mitigation of Climatic Change in the Amazon", W. F. Laurance y C. A. Peres (ed.), *Emerging Threats to Tropical Forests*, Chicago, Illinois, Estados Unidos, University of Chicago Press, pp. 353-375.
- (2009a), "Brazil's evolving Proposal to Control Deforestation: Amazon Still at Ris", *Environmental Conservation* 36 (3), pp. 176-179, doi: 10.1017/S0376892909990294.
- (2009b), "A vulnerabilidade da selva amazônica perante as mudanças climáticas", *Oecologia Brasiliensis* 13(4), pp. 609-618, doi: 10.4257/oeco.2009.1304.05.
- Fearnside, P. M. y W. F. Laurance (2004), "Tropical Deforestation and Greenhouse Gas Emissions", *Ecological Applications*, 14(4), pp. 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. y P. Snyder (2007), "Amazonia Revealed: Forest Degradation and Loss of Ecosystem Goods and Services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(1), pp. 25-32.
- Folha de São Paulo* (2007), "Conclusão de texto envolve debate intenso", abril 6, p. A-14.
- (2009), "Itamaraty confirma que Brasil terá meta contra aquecimento", agosto 12, p. A-16.
- Hegerl, G. C.; Crowley, T. J.; Hyde, W. T. y D. J. Frame (2006), "Climate Sensitivity Constrained by Temperature Reconstructions over the Past Seven Centuries", *Nature*, 440, pp. 1029-1032.
- Hansen, J.; Sato, M.; Ruedy, R.; Lea, D. W. y M. Medina-Elizade (2006), "Global Temperature Change", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 203(39), pp. 14288-14293.
- Hutyra, L. R.; Munger, J. W.; Nobre, C. A.; Saleska, S. R.; Vieira, S. A. y S. C. Wofsy (2005), "Climatic Variability and Vegetation Vulnerability in Amazonia", *Geophysical Research Letters*, p. 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. e I. A. Shiklomanov (2007), “Freshwater Resources and their Management”, en M. L. Parry, O.F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J van der Linden y C. E. Hanson (ed.), *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, Reino Unido, Cambridge University Press, pp. 173-210.
- Lean, J.; Bunton, C. B.; Nobre, C. A. y P. R. Rowntree (1996), “The Simulated Impact of Amazonian Deforestation on Climate Using Measured ABRACOS Vegetation Characteristics”, en J. H. C. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts y R. L. Victoria (ed.), *Amazonian Deforestation and Climate*, Wiley, Chichester, Reino Unido, pp. 549-576.
- Mahowald, N. M. y Luo, C. (2003), “A Less Dusty Future?”, *Geophysical Research Letters*, 30(17), p. 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. e I. F. Brown (2008), “The Drought of Amazonia in 2005”, *Journal of Climate*, 21, pp. 495–516.
- Mepshaden, M. J.; Zebiak, S. E. y M. H. Glantz (2006), “ENSO as an Integrating Concept in Earth Science”, *Science*, 314, pp. 1740-1745.
- Meehl, G. A.; Stocker, T. F.; Collins, W. D.; Friedlingstein, P.; Gaye, A. T.; Gregory, J. M.; Kitoh, A.; Knutti, R.; Murphy, J. M.; Noda, A.; Raper, S. C. B.; Watterson, I. G.; Weaver, A. J. y Z-C. Zhao (2007), “Global Climate Projections”, en S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor y H. L. Miller (ed.), *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, Reino Unido, Cambridge University Press, pp. 247-845.
- Nepstad, D. C.; Carvalho, G.; Barros, A. C.; Alencar, A.; Capobianco, J. P.; Bishop, J.; Moutinho, P.; Lefebvre, P.; Silva Jr., U. L. y E. Prins (2001), “Road Paving, Fire Regime Feedbacks, and the Future of Amazon Forests”, *Forest Ecology and Management*, pp. 395-407.
- Nepstad, D. C.; Lefebvre, P.; Silva Jr., U. L.; Tomasella, J.; Schlesinger, P.; Solorzano, L.; Moutinho, P.; Ray, D. y J. G. Benito (2004), “Amazon Drought and its Implications for Forest Flammability and Tree Growth: A Basin-wide Analysis”, *Global Change Biology*, 10(5), pp. 704-712.
- Nepstad D. C.; Soares-Filho, B.; Merry, F.; Moutinho, P.; Rodrigues, H. O.; Bowman, M.; Schwartzman, S.; Almeida, O. y S. Rivero (2007), *The Costs and Benefits of Reducing Carbon Emissions from Deforestation and Forest*

- Degradation in the Brazilian Amazon*, Falmouth, Massachusetts, Estados Unidos, Woods Hole Research Center (WHRC).
- Nicholls, N. y otros (1996), “Observed Climate Variability and Change”, en J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg y K. Maskell, (ed.), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press, pp. 133-192.
- O Estado de São Paulo* (2009) “Amazônia pede a Lula nova política para selva“, julio 1 de 2009, p. A-20.
- Phillips, O. L. y otros (2009), “Drought Sensitivity of the Amazon Rainforest”, *Science*, 323, pp. 1344-1347.
- Salazar, L. F.; Nobre, C.A. y M. D. Oyama (2007), “Climate Change Consequences on the Biome Distribution in Tropical South America”, *Geophysical Research Letters*, 34, p. L09708, doi: 10.1029/2007GL029695.
- Sampaio, G.; Nobre, C.A.; Costa, M. H.; Satyamurty, P.; Soares-Filho, B. S. y M. Cardoso (2007), “Regional Climate Change over Eastern Amazonia caused by Pasture and Soybean Cropland Expansion”, *Geophysical Research Letters*, 34, p. L17709, doi: 10.1029/2007GL030612.
- Trenberth, K. E. y D. J. Shea (2006), “Atlantic Hurricanes and Natural Variability in 2005”, *Geophysical Research Letters*, 33, p. L12704, doi: 10.1029/2006GL026894.
- Vasconcelos, S. S. e I. F. Brown (2007), “The Use of Hot Pixels as an Indicator of Fires in the MAP Region: Tendencias in Recent Years in Acre, Brazil”, en J. C. N. Epiphanyo, L. S. Galvão y L. M. G. Fonseca (ed.), *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil 21-26 abril 2007*, São José dos Campos, São Paulo, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Brasil, pp. 4549-4556.
- UN-FCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (1992), “United Nations Framework Convention on Climate Change”, Disponible en: <http://www.unfccc.de>.