

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

Please cite as:
Favor citar como:

Fearnside, P.M. 2011. Cambio climático y el bosque amazónico. In: Hernando Bernal Zamudio, Carlos H. Sierra, Miren Onaindia Olalde & Tirso Gonzales (eds.) *Bosques del Mundo, Cambio Climático y Amazonía*. UNESCO Centre Basque Country (ETXEA) / Universidad Publica Vasca (UPV/EHU), Bilbao, Espanha. 327 pp.

[Publicado: 15 de Marzo de 2012]

ISBN: 978-84-615-6723-2.

Copyright: Hernando Bernal *et alii*.

The original publication is available for free from:

A publicação original está disponível grátis de:

http://www.ehu.es/cdsea/web/images/Pdf/libro_bosques_del_mundo_paginaweb.pdf

CAMBIO CLIMÁTICO Y EL BOSQUE AMAZÓNICO

PHILIP M. FEARNSIDE

Resumen

La selva amazónica se enfrenta a serias amenazas para su sobrevivencia debido a los cambios globales proyectados los cuales convirtieran a la Amazonía en una región 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, como son 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 destruye más bosque. Una amenaza climática que antes no era apreciada se reveló posteriormente en el 2005, cuando una sequía devastadora afectó a la Amazonía. Este tipo de sequía se debe a un gradiente de temperatura del agua superficial del mar entre el Atlántico Norte y el del Atlántico Sur, que forma 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 concreción 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 del continuar la deforestación. Brasil es uno de los países que perdería más con el calentamiento global, a partir del impacto sobre su propia selva amazónica.

1. Predicciones de Modelos de Clima

Diferentes modelos climáticos producen una gama extensa de resultados relacionados con el futuro del clima 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, daría como resultado 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 Inter-gubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), de 2007, otros modelos indicaban que la Amazonía se haría significativamente más seca, entre éstos 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 Australia, no indicaban ningún cambio en la Amazonía, mientras otro modelo, del Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos (GFDL), en los EEUU, indicaba más lluvia en la Amazonía (veáse Kundzewicz *et al.*, 2007, p. 183). Se atribuye el aumento de la lluvia en la Amazonía en el modelo del GFDL a un error en el modelo, el cual ya fue arreglado (S.M. Griffies, comunicación personal, 2009). Así mismo, los resultados son bastante variados, y es importante evaluar los diferentes modelos para el propósito específico de poder representar el clima futuro en la Amazonía, así como tam-

bién considerar la mejor manera de poder interpretar para la política el significado de la incertidumbre restante.

Los resultados catastróficos del modelo del Centro Hadley fueron publicados por primera vez en la revista *Nature* en 2000. Es extremadamente inquietante que en diez años de trabajo intensivo de varios grupos de investigación no se haya identificado un error específico que invalidaría este resultado, aunque los resultados de los otros modelos sean comparativamente menos catastróficos. Es tranquilizador el hecho de que el modelo Hadley indique que el clima actual en la Amazonía es más caliente y más seco, es decir, el clima real que predomina al día de hoy (Cândido *et al.*, 2007). Esto significa que, probablemente, son exagerados también los valores numéricos para la simulación de temperatura y la sequedad en el clima futuro. Sin embargo, en dicha simulación del comportamiento del clima del futuro se va más allá de los límites de tolerancia para los árboles de la selva amazónica, así sean obedecidos por cambios menos extremos como lo indica el pronóstico según las simulaciones. De todas maneras, estos cambios también causarían una gran mortalidad.

2. El Niño y el efecto Invernadero

La pregunta central al respecto de los resultados del modelo del Centro Hadley para la Amazonía es si su representación de los efectos del fenómeno El Niño son correctos. En este modelo, la continuación del calentamiento global lleva al sistema climático a permanecer en un “El Niño permanente”, generando severas sequías y altas temperaturas en la Amazonía. 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, lo cual arrojó una diferencia estadística altamente significativa (Nicholls *et al.*, 1996, pág. 165). Eventos recientes, como los Niños de 1997 y 2003, causarían importantes impactos en la Amazonía.

El Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR-4), de 2007, concluyó que al continuar el calentamiento global éste 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 detonante para que se dispare el fenómeno del El Niño. Sin embargo, el informe del IPCC observa que 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 diferentes localidades alrededor del mundo.

Desgraciadamente, sabemos de forma directa que las condiciones fenómeno del Niño conducen a las sequías e incendios forestales en la Amazonía; ésta no es una conclusión que depende de los resultados de modelos climáticos. Las sequías del fenómeno de El Niño en 1982, 1997 y 2003 son 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 los eventos de sequía que se produjeron 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 para ser una coincidencia, los gráficos de CO₂ atmosférico y de temperatura global son un espejo uno del otro, también se puede considerar que debe haber una relación entre estos dos. Lo mismo se aplica para temperatura de la superficie del mar en el Pacífico y las sequías 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, y no sucede nada en la Amazonía, entonces significa que hay algo que esta fallando en el modelo, no es que estemos 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 aproximada (“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 es programado con una perspectiva física del clima semejante a la del modelo del Centro Hadley. Los picos de temperatura 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 grandes (“píxeles”) de 10 × 10 km, cuando otros computadores que ejecutan GCMs usan células grades de aproximadamente 300 × 300 km.

El Niño produce un padrón de inundaciones y sequías alrededor del mundo, con intensas lluvias en la costa del Perú, sequía en la parte Norte de la Amazonía (por ejemplo, el causante del Gran Incendio de Roraima de 1997-1998), e inundaciones en el Estado de Santa Catarina, sequías en Borneo (que también provocó incendios en 1997-1998), sequía en Etiopía (que mató más de 200,000 personas en 1982) y la ola de 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 calienta es una tarea difícil, y esta dificultad se explica porque los modelos son diferentes actualmente y por eso no se corresponden entre sí. Sin embargo, desde el punto de vista de la sequía amazónica, solamente necesitamos representar esta parte del padrón global correctamente, y no el resultado en todos los otros impactos 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 las sequías amazónicas. Entre los 21 modelos testados para interpretar la capacidad para 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).

3. Oscilación Atlántica

Una amenaza climática que antes no era apreciada se reveló en 2005, cuando un periodo de sequía devastador golpeó la Amazonía. 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. También la serie de incendios forestales que arrasaron el Estado de Acre y partes vecinas del Estado de Amazonas, fue 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: el agua más caliente de lo normal no estaba en el Pacífico, sino que también había agua caliente en la parte Sur del Atlántico Norte y, almismo tiempo, agua fría en la parte Norte del Atlántico Sur. El agua caliente en el Atlántico Norte aportó energía al Huracán Katrina, que golpeó la ciudad de Nueva Orleans en ese año. También contribuyó en la sequía de 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 1800 m, se divide en flujos para el Norte y para el Sur, y entonces se mueve en el sentido de los polos 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 se condensa y cae como lluvia, y después, cuando el aire baja al nivel del suelo, es seco, y reseca el área alcanzada 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 el frío en el Atlántico Sur, la ITCZ fue jalonada más al Norte que lo habitual y, en la época del año cuando el movimiento estacional de la ITCZ estaba 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, 2006; 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). 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 produjo una menor protección de esta área de océano contra la radiación solar. La carga de aerosoles está disminuyendo tanto debido a la reducción de la contaminación atmosférica industrial en Europa y América del Norte (Cox *et al.*, 2008) como también 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 los resultados de los 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 da 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 continuasen su rumbo 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% (1 año en 20) en 2005, pero 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 se dispara 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. En 2010 una segunda sequía causada por la oscilación atlántica, junto con el fenómeno del El Niño, llevó a incendios y a un nivel de los más bajos que se haya registrado del río Negro (Lewis *et al.*, 2011).

4. Sabanización de la Amazonía

La pérdida de grandes áreas de bosque amazónico debido a los cambios climáticos no depende del modelo del Centro Hadley pero es la mejor representación del futuro del clima. Salazar *et al.* (2007) testaron 15 modelos diferentes para las implicaciones relacionadas con la “sabanización” en la Amazonía. Más del 75% de los modelos indican que una franja que hoy es bosque a lo largo de las latitudes Este y Sur de la región será climáticamente inadecuada para el bosque 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 Manaus. El modelo del Centro Hadley, es claro, mostraría que la sabanización ocurriría en toda el bosque amazónico brasileño en este tiempo.

Los varios modelos de clima, inclusive el modelo del Centro Hadley, omiten varios procesos críticos que pueden hacer que los eventos reales sean más desastrosos que aquellos indicados por los modelos. Los modelos solamente muestran los efectos del calentamiento global, pero el bosque amazónico está sujeto a otros factores de tensión. El más obvio es la deforestación directa, con tala de árboles por moto-sierras en lugar de muerte por falta de agua. Esto no solamente elimina los árboles que son derribados directamente, sino que también contribuye con los otros cambios climáticos a reforzar las mismas tendencias relacionadas con las características de un clima más caliente y más seco para el resto del bosque, por lo tanto contribuyen con la muerte del bosque como un todo. La pérdida de árboles reduce la evapotranspiración, reduciendo la lluvia sobre el resto del bosque (e.g., Lean *et al.*, 1996). Dos recientes simulaciones indican que la pérdida continua de bosque 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 continua los parámetros espaciales proyectados, consideran una caída abrupta de la cantidad de lluvia en la estación seca, la cual ocurriría después de que la deforestación llegue al 40% (Sampaio *et al.*, 2007). Hasta el 2009, la deforestación había eliminado el 18.6% del bosque original en la Amazonía brasileña (Brasil, INPE 2010). La estación seca es el período crítico del año, es decir, cuando árboles pueden morir por falta de agua.

Los incendios forestales representan una gran amenaza para los bosques amazónicos y, son omitidos por los GCMs como el modelo del Centro Hadley. Especialmente en los años en los que se produce el fenómeno del El-Niño, donde el fuego pueden moverse por el sub-bosque de la selva, matando grandes árboles. En el Gran Incendio de Roraima de 1997-1998, una área calculada en 11-13,000 km² de bosque fue quemada (Barbosa & Fearnside, 1999). Áreas grandes de bosque también se quemaron en el Estado de Pará (Alencar *et al.*, 2004, 2006; Cochrane *et al.*, 1999). Los árboles muertos por el fuego suministra combustible para fuegos subsecuentes, así se conduce a procesos de retroalimentación positiva que destruyen el bosque completamente a lo largo de un período de varios años (e.g., Nepstad *et al.*, 2001). Una vez que el cambio de clima aumente la frecuencia y la severidad de los incendios, el bosque podría morir más rápidamente de lo que los modelos indican. Un estudio reciente indica que la pérdida significativa de bosque causado por incendios antes de 2030 se sustenta bajo la suposición optimista de que los patrones de clima de los últimos 10 años continuaran inalterados (Nepstad *et al.*, 2007). Los actuales patrones de variación climática en la Amazonía implican en riesgo para grandes áreas de bosque (Hutyra *et al.*, 2005; Nepstad *et al.*, 2004). El riesgo de incendios aumenta mucho con los cambios climáticos previstos en este siglo (Justino *et al.*, 2011).

AGRADECIMENTOS

Este texto es una traducción abreviada y actualizada de Fearnside (2009). 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. & 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. & Fearnside, 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. (Disponible en: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>).

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.

Fearnside, P.M. 2006. A vazante na Amazônia e o aquecimento global. *Ciência Hoje*, 38(231): 76-78.

Fearnside, P.M. 2009. A vulnerabilidade da floresta amazônica perante as mudanças climáticas. *Oecologia Brasiliensis*, 13(4): 609-618. doi: 10.4257/oeco.2009.1304.05.

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.

Hansen, J.; Sato, M.; Ruedy, R.; Lea, D.W. & Medina-Elizalde, 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.

Justino, F.; De Mélo, A.S.; Setzer, A.; Sismanoglu, R.; Sedyama, G.C.; Ribeiro, G.A.; Machado, J.P. & Sterl, A. 2011. Greenhouse gas induced changes in the fire risk in Brazil in ECHAM5/MPI-OM coupled climate model. *Climatic Change*, 106: 285-302.

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, 976 p.

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, 611 p.

Lewis, S.L.; Brando, P.M.; Phillips, O.L.; Van der Heijden, G.M.F. & Nepstad, D. 2011. The 2010 Amazon drought. *Science*, 331: 554.

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.; Kitoh, 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, 996 p.

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.

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, EE.UU. 26 p.

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, 572 p.

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.

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.

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.