



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES



Tropical Journal of Environmental Sciences

¿Cambio climático o variabilidad climática? Historia, ciencia y política en el clima mesoamericano

Climate Change or Climate Variability? History, Science and Politics in the Mesoamerican Climate

Daniel Poleo^a

^a Meteorólogo, Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. Estudiante de la Maestría de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Costa Rica, dpoleo@imn.ac.cr

Director y Editor:

Dr. Sergio A. Molina-Murillo

Consejo Editorial:

Dra. Mónica Araya-Salas, Costa Rica Limpia, Costa Rica
Dr. Gerardo Ávalos-Rodríguez. SFS y UCR, USA y Costa Rica
Dr. Manuel Guariguata. CIFOR-Perú
Dr. Luko Hilje, CATIE, Costa Rica
Dr. Arturo Sánchez Azofofeifa. Universidad de Alberta-Canadá

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas

Editorial:

Editorial de la Universidad Nacional de Costa Rica (EUNA)





¿Cambio climático o variabilidad climática? Historia, ciencia y política en el clima mesoamericano

Climate Change or Climate Variability? History, Science and Politics in the Mesoamerican Climate

Daniel Poleo^a

[Recibido: 22 de febrero 2016; Aceptado: 21 de abril 2016; Corregido: 07 de julio 2016; Publicado: 29 de agosto 2016]

Resumen

Las variaciones en el clima de Mesoamérica han influenciado el desarrollo y decaimiento de las poblaciones desde los primeros asentamientos humanos. La época actual no es la excepción; sin embargo, no se tienen evidencias de que el calentamiento global impactará las precipitaciones en la región, sino que más bien hay estudios importantes que muestran que los cambios en las lluvias responden más bien a la variabilidad climática que actualmente sufre el trópico americano. Debido a que nuestra región tropical es vulnerable a la variabilidad del clima, las políticas públicas deben ser congruentes para evitar los errores de generaciones previas y lograr, de la mano de la ciencia, un verdadero avance en la lucha contra el calentamiento global.

Palabras claves: Cambio climático, Centroamérica, clima mesoamericano, política y clima, variabilidad climática.

Abstract

Climate variations in Mesoamerica have influenced the development and decay of populations from the earliest human settlements. The present time is no exception; there is no evidence that global warming will impact rainfall in the region, but rather there are important studies showing a response of rainfall to climate variability in the American tropics. Since our tropical region is vulnerable to climate variability, public policies must be congruent to avoid the mistakes of previous generations and achieve, with the help of science, a real progress in the fight against global warming.

Keywords: Central America, climate change, climate policy, climate variability, Mesoamerican climate.

1. Introducción

Una realidad en la meteorología es que jamás dos días son iguales, menos dos meses o dos años. El clima es dinámico, variable, está cambiando y, contrario a lo que se cree, lo normal son las variaciones influenciadas, según [Milankovitch \(1920\)](#), por cambios de la órbita terrestre, oblicuidad o en la precesión. Otros cambios como, por ejemplo, en la actividad solar, las grandes erupciones volcánicas, las variaciones en oscilaciones atmosféricas y las variaciones en la química atmosférica entre otros, originan lo que se llama variabilidad climática, que no es más que las variaciones del clima en períodos que van desde días hasta décadas, que podrían representar entre 80 hasta 100 años, algo sugerido por [Solomon \(2007\)](#).

La concepción actual de lo que es el clima, normalmente confunde el concepto de variabilidad con cambio climático. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) define el clima como

^a Meteorólogo, Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. Estudiante de la Maestría de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad de Costa Rica, dpoleo@imn.ac.cr



un conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, las cuales se promedian de los valores estadísticos del tiempo atmosférico (y todas sus variables) que suceden durante un período de tiempo extenso, dicho promedio debe ser de 30 años o más, según la OMM (2011). Con base en este concepto, para la OMM el cambio climático sería las variaciones permanentes en el clima, en lapsos de 30 años o más.

Para comprender mejor hay que conocer que uno de los modos de variabilidad climática más importantes en América es la oscilación multidecadal del Atlántico (AMO, por siglas en inglés), la cual ocurre en el océano Atlántico Norte (entre 0°N y 70°N) y se observa en los cambios en la temperatura de la superficie del mar (TSM) con amplitudes alrededor de 0,7 °C y períodos que van de 50 a 70 años (Knight, Folland, & Scaife, 2006). La AMO en fases negativas favorece vientos alisios más intensos en el Caribe, menos huracanes en el océano Atlántico y el mar Caribe, según Klotzbach y Gray (2008), y por tanto incide en los patrones climáticos de largo plazo en América (Knight et al., 2006).

La oscilación Decadal del Pacífico (PDO, por siglas en inglés) es otro modo de variabilidad que consiste en anomalías de la TSM en el océano Pacífico, en el cual un dipolo de TSM se presenta entre el océano Pacífico ecuatorial tropical y el océano Pacífico norte durante años (Mantua, Hare, Zhang, Wallace, & Francis, 1997), con períodos decadales entre 20 a 30 años, los cuales se pueden extender hasta el Pacífico sur (Power, Casey, Folland, Colman, & Mehta, 1999).

Por la existencia de estos modos de variabilidad climática, la definición de clima, propuesta por el principal organismo científico en la meteorología global, choca y contradice los conceptos actuales y conocimientos que se tienen sobre lo que es variabilidad climática y las implicaciones que tienen las oscilaciones atmosféricas decadales (períodos de 20-30 años) y multidecadales (períodos de 40-80 años). Sin embargo, se comprende que la razón inicial de este concepto de clima fue subsanar la carencia de datos observados y registros para períodos de tiempo mayores a 30 años en la mayoría de países miembros del organismo, así como el desconocimiento de las oscilaciones atmosféricas de baja frecuencia (con períodos de 20-80 años).

Actualmente, la definición de clima aceptada por la mayoría de los organismos globales de meteorología (definido por la OMM), podría llevarnos a conclusiones erradas, como pensar que un aguacero, inundación o sequía severa de duración de 5-10 años se deba al cambio climático y no a procesos de variabilidad climática, esto debido a que pertenecen a diferentes escalas temporales, y el análisis del cambio climático debería implicar estudios de más de 80 o 90 años en conjunto y no corresponden a individualidades dentro de la variabilidad climática.

Los efectos de la gravedad que Venus y Júpiter ejercen sobre la tierra hacen que nuestro planeta tenga un movimiento de precesión, el cual, según los ciclos propuestos por Milankovitch, tienen una periodicidad aproximada de 25 000 años. En la época actual, nuestro planeta está saliendo de la última era fría o glaciario, y nos encontramos en lo que denominamos período interglaciario, un período en el que el clima es más “estable” y con tendencia a un mayor calentamiento de manera natural. Los cambios en la precesión del planeta producen cambios en el clima de manera constante, como fue comprobado con el estudio de núcleos de hielo en los polos (Genthon, Jouzel, Barnola, Raynaud, & Lorius, 1987); además, el planeta sufre cambios en la excentricidad de la órbita alrededor de cada 100 000 años y en la oblicuidad de órbita cada



40 000 años. La edad de la gran barrera de coral en Australia y los fósiles corales hermatípicos presentes en las montañas más altas de Barbados son prueba de estas variaciones climáticas, debido a que prueban que alguna vez estas montañas estuvieron sumergidas, lo que implicaría el nivel del mar estuvo 50 m por encima de lo que se encuentra en la actualidad. Esto, porque la formación geológica de las montañas de Barbados es mucho más antigua que la datación de fósiles encontrados (Kambesis y Machel, 2013). El hecho de que los corales vivan y se desarrollen en aguas someras o superficiales, y la existencia de fósiles corales en profundidades donde la existencia coralina sería imposible con el nivel del mar actual, indica que miles de años atrás, durante los períodos glaciales, el nivel del mar bajó, para luego aumentar en los períodos interglaciares como el que tenemos en la actualidad. Estas variaciones han ocurrido de manera recurrente, dando origen a los cambios en el clima. En la actualidad, el planeta está en el fin de un período que denominamos interglaciar, que desciende durante períodos fríos y aumenta durante el calentamiento de la atmósfera (Van Vliet-Lanoë, 2005).

Si algo es antagónico al clima, son los eventos extremos (que ocurren debido a la variabilidad climática). Aunque para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) el clima es una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años (Solomon, 2007), esto definiría la variabilidad climática como parte del clima. Por ello no tiene sentido hablar de un evento extremo del tiempo para referirnos a algún cambio en el clima, aunque la suma de todos los eventos extremos, como un conjunto, en un período de lapso de muchos años y sus variaciones, sí se refieren a variaciones en el clima.

El IPCC define cambio climático como una “importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más)” (Solomon, 2007), sin especificar un límite mínimo de esos decenios. Tomando esa referencia, y conociendo que la variabilidad climática puede tener variaciones del orden de 50 años o más, con base en los períodos de las oscilaciones atmosféricas multidecadales como la AMO (Knight et al., 2006), sería importante entender que el cambio climático está en una escala temporal mayor. Así, pues, uno de los mayores problemas en la reducción de emisiones de aerosoles contaminantes que favorecen el calentamiento global (Flato et al., 2013) consiste en que se confunde el cambio climático actual (cuyo período temporal de estudio son múltiples décadas e incluso siglos, abarcando dentro de sí lo que se conoce como variabilidad climática, y además requiere de estudios globales aperiódicos) con la variabilidad climática, cuyo período de estudio varía desde días hasta 7 décadas, y normalmente su impacto es continental o regional y periódico.

Este desconocimiento sobre lo que es cambio climático ha generado un “auge político” en la lucha por reducir contaminantes, aerosoles y gases de efecto invernadero, favoreciendo estrategias políticas y económicas erradas tanto en Latinoamérica como en otras latitudes que no han mitigado y menos adaptado a los seres humanos a las variaciones en el clima, aumentando, en algunos casos, la vulnerabilidad, debido al uso de los recursos de una manera poco asertiva (Castilla, Quesada y Rodríguez, 2013).



2. Metodología

Para la presente investigación se llevó a cabo una revisión bibliográfica paleoclimática de Mesoamérica y el Caribe, tomando los artículos más importantes de la región para el período comprendido entre 100 000 a.C hasta el presente, artículos que fueron utilizados por el IPCC para el estudio del cambio climático en la región. Se utilizaron los datos de una reconstrucción paleoclimática (Stahle, Díaz, Burnette, Paredes, Heim, & Fye, 2011), donde se estudiaron anillos de árboles y sedimentos de diferentes localidades del sur y norte de México. Se calcularon las anomalías de la temperatura con base en el promedio de la serie de los últimos 100 años. Estos datos se contrastaron con los datos de temperatura del período entre el año 771 y 1952, obtenidos de Kobashi, Goto-Azuma, Box, Gao, & Nakaegawa (2013).

Se identificaron los cambios en los patrones de variación de la sequía y períodos de mucha lluvia, utilizando el índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés) entre los años 771 y 2008. Los valores del PDSI se derivan de las medidas de precipitación, temperatura del aire y humedad del suelo local, conjuntamente con valores anteriores de estas medidas. Los valores varían desde -5,0 (sequía extrema) a +5,0 (condiciones extremas de humedad), y han sido estandarizadas para facilitar comparaciones de región en región (Palmer, 1965). Se promediaron y agruparon los valores extremos, debajo (encima) de los percentiles 20 (80). Luego se identificaron los períodos similares de sequía o humedad, con el fin de analizar la existencia de períodos secos o húmedos a lo largo de todo el período.

Se analizó el quinto informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) desarrollado por Flato et al. (2013) con el fin de extraer los resultados más importantes para la región y analizarlos desde el punto de vista teórico y político. Adicionalmente se realizó una revisión histórica de los cambios en la tecnología en el último siglo, planteada por Levitt (2010), con el fin entender por qué se comenzaron a utilizar combustibles fósiles.

Finalmente, se hizo una revisión y comparación de los estudios de variabilidad climática y cambio climático incluidos en los dos últimos informes del IPCC, principalmente los que se han hecho en la región mesoamericana entre el período 2000-2015, con el fin de comparar mitos que persisten en la comunidad científica con respecto a las políticas de mitigación en cambio climático, así como acuerdos y leyes existentes al año 2016 que promueven la mitigación o adaptación al cambio climático.

3. Resultados

3.1 El cambio climático y la merma de las poblaciones prehispánicas

La sociedad mesoamericana ha tenido desde hace miles de años variaciones del clima y la variabilidad climática que la ha impactado directa e indirectamente. En Costa Rica, la existencia de palabras como “nieve” en dialectos indígenas bribri, en Talamanca (región donde no se ha registrado que caiga nieve), evidencia, entre otras cosas, que han existido, en el clima local, cambios importantes, algo que ha sido común a lo largo de la historia mesoamericana.

Una reconstrucción paleoclimática que utiliza anillos de árboles y muestras de sedimentos en el sur de México para los años entre 750 y 2008 con el uso del PDSI, muestra períodos



extremadamente húmedos o lluviosos cuando los valores fueron positivos y además variaciones y períodos extensos de sequías extremas (Stahle et al., 2011). La reconstrucción paleoclimática de Stahle et al. (2011) indica que la sequía del período Clásico Terminal (período que abarca los siglos IX y X) se extendió hasta el centro de México (897 y 921), lo cual apoya los resultados de otras muestras sedimentarias y pruebas de espeleotemas para esta etapa temprana, que registró una sequía severa en el siglo X en Mesoamérica. Estos autores también documentan graves y sostenidas sequías durante el declive del Estado Tolteca (1149-1167), en la desaparición de los aztecas (1378-1404) y durante la conquista española (1514-1539). Estos períodos de extrema sequía coincidieron con la merma de las poblaciones indígenas mesoamericanas, también sugerido en el estudio de Stahle et al. (2011).

Las sequías e intensas inundaciones recurrentes durante períodos muy extensos (20 años o más) son parte del ciclo natural de los sistemas climáticos. Entre las oscilaciones multidecadales más importantes que favorecen estos procesos está la AMO y la PDO. Otras oscilaciones importantes parte de la variabilidad climática es El Niño Oscilación del Sur (ENOS).

La AMO tiene un período de oscilación que puede durar entre 50 y 70 años; sin embargo, las definiciones recientes de clima, inclusive las recomendadas por la OMM, que sugieren el uso de series de tiempo de por lo menos 30 años, son insuficientes como período mínimo para describir la variabilidad climática existente en nuestra región y lleva a graves errores de escala temporal. Por tanto, inferir tendencias de “cambio climático” y en especial tendencias de precipitación podría ser un simple comportamiento de la AMO, es decir, cambios en la variabilidad climática y no un cambio en el clima. Para la región mesoamericana el período ideal para no incurrir en errores debería ser de al menos 60 años, lapso de tiempo que incluiría al menos un ciclo de las oscilaciones de baja frecuencia como la AMO y la PDO, y eliminaría el sesgo de la variabilidad climática.

En las series climáticas reconstruidas por Stahle et al. (2011) se observa que los períodos de extensas sequías en Mesoamérica se alternaron con períodos muy extensos de inundaciones severas. Es decir, los eventos extremos fueron más frecuentes de manera simultánea, seguidos luego por espacios de tiempo con menos eventos extremos de lluvia (**Figura 1**), resultado que no resaltan en sus análisis Stahle et al. (2011). Se observa en esa serie de datos que no hubo una correlación entre las variaciones en la temperatura y las precipitaciones y, por tanto, las aseveraciones actuales que sugieren que los cambios en las temperaturas están produciendo eventos extremos en la región Mesoamericana son diferentes a los resultados observados en este período extenso de datos paleoclimáticos.

Las variaciones extremas en las temperaturas más importantes se observan entre los años 1231 y 1311, cuando hubo una disminución importante en las temperaturas en casi 4 desviaciones estándar, pero la variación en las precipitaciones en este período no respondió en igual magnitud. Igualmente, a lo largo de toda la serie la correlación lineal entre los cambios de temperatura y precipitación fue menor a 0,15.

Por otro lado, entre el período comprendido entre 1831 y 2008, se observan anomalías positivas de casi 4,5 °C por encima del promedio; sin embargo, tanto los períodos lluviosos como secos fueron recurrentes, similar al período de eventos extremos comprendido entre el 971 y 1350.



Las variaciones más importantes que presenta el PDSI ocurrieron en los períodos de extremos (secos y lluviosos) ocurridos entre los años 971 y 1350 (**Figura 1**). Seguidamente a este período de extremos intensos hubo un lapso de relativa “poca frecuencia” de eventos extremos entre 1351 y 1670, además se observa que la amplitud de estos eventos extremos ocurridos es menor a 2 desviaciones estándar.

Después del año 1770 nuevamente la región mesoamericana está en un período natural de mayor frecuencia y amplitud de los eventos extremos de precipitación (sequías e inundaciones). Sin embargo, la serie de temperatura comienza a aumentar hasta casi 5 desviaciones estándar sobre el promedio de la serie, muy posiblemente consecuencia de un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero por el comienzo de la era industrial a mediados del siglo XIX; este aumento en la temperatura da origen al calentamiento global y a un cambio climático que se acentúa luego de 1950, como lo corrobora Flato et al. (2013) en el IPCC.

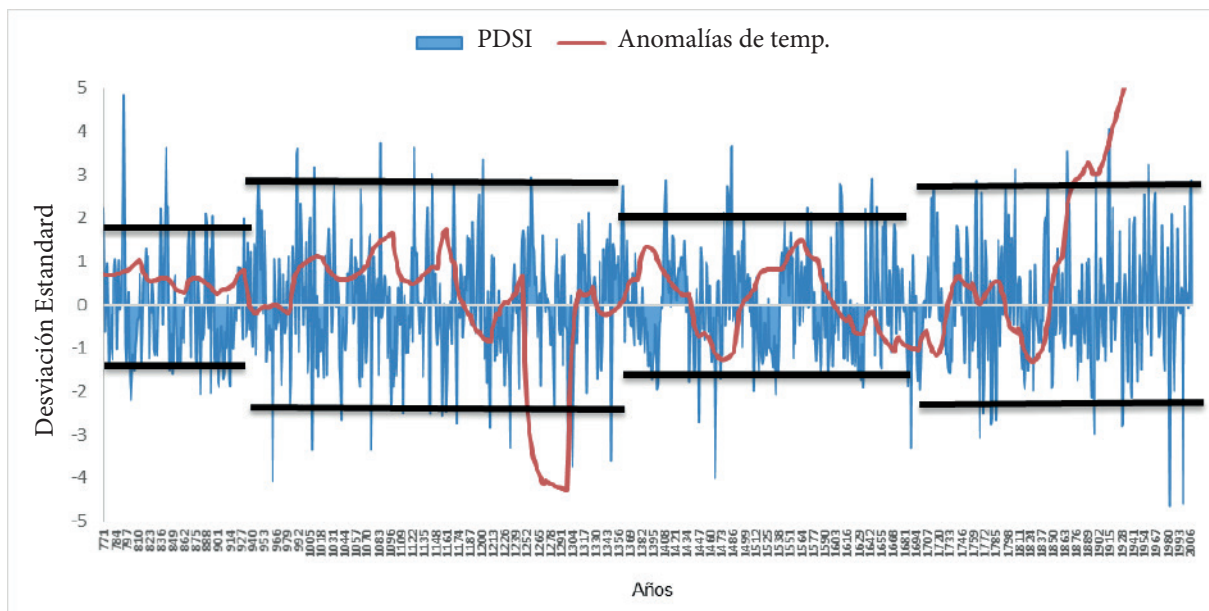


Figura 1. Variación del índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI) en el norte de Mesoamérica (771-2008) y anomalía de temperatura en el Hemisferio Norte (771-1952). Fuente: Modificado con base en datos de [Stahle et al. \(2011\)](#) y [Kobashi et al. \(2013\)](#).

3.2 Inicio del uso de los combustibles fósiles

Entre las principales dificultades que ha habido en el mundo y que han generado un aumento en la temperatura del planeta, están los cambios de tecnología de los últimos 150 años. Muchas de las soluciones a problemáticas ambientales que se han aplicado han resultado peores que las tecnologías preexistentes.

A finales del siglo XIX una de las principales complicaciones sociales era la contaminación debido a la bosta o excremento de caballos, el cual era el principal medio de transporte de la



época. Juntas, las ciudades de Nueva York y París hacían uso de más de 200 000 caballos, los que generaban unas 2 mil toneladas de estiércol que en algunas ocasiones podían acumularse a la orilla de las calles hasta con 18 metros de altura (Levitt, 2010). La invención del automóvil llegó como una solución a un problema muy grave de salubridad, contaminación y “lucha a favor del medio ambiente”, según Levitt (2010). El desconocimiento en la época sobre las consecuencias de las emisiones de CO₂ y el futuro uso masivo del automóvil llevó a un apoyo incondicional y a la expansión de la industria automotriz sin ningún tipo de control ambiental durante más de 80 años. Esta experiencia deja incógnitas sobre el uso y desarrollo de nuevas tecnologías como vehículos de combustible de hidrógeno (que emiten vapor de agua como residuo, el cual es un gas de efecto invernadero). Por otro lado, los componentes internos, electrónicos o de plástico que se utilizan para dichos vehículos, o el uso de vehículos eléctricos que son cargados con electricidad en algunos casos generada por quema de combustibles fósiles, mantiene intacto el problema y no aporta una nueva solución real a la sociedad.

3.3 Mitos sobre el cambio climático

Para combatir, mitigar y adaptarse al cambio climático es necesario entender cuáles son sus consecuencias y problemas asociados, comprender realmente qué es originado por variabilidad climática o los ciclos naturales del planeta y qué tiene una raíz antropogénica. Como se muestra en la **figura 1**, la relación en Mesoamérica de la variación en la temperatura y el aumento en las inundaciones y sequías es, principalmente, resultado de la variabilidad climática, más que del cambio climático resultado del calentamiento global; no obstante, si se analizan los eventos extremos regionales como huracanes, influencia de la temperatura y comportamiento de los aerosoles, surgen muchos mitos que confunden a la hora de entender las implicaciones del cambio climático.

3.3.1 Huracanes

Actualmente no se tiene una tendencia de aumento o disminución de los ciclones tropicales para los últimos 80 años. Según Klotzbach (2006), en todo el planeta no se tiene una correlación importante entre el aumento de la temperatura superficial del mar (TSM) en los últimos años y la frecuencia de ocurrencia de ciclones tropicales. Igualmente, este autor afirma que, con excepción del noreste del océano Pacífico, no se observa una mayor ocurrencia de ciclones tropicales categoría 4 y 5, es decir, el aumento en la temperatura debido al calentamiento global no ha provocado una mayor frecuencia de ciclones tropicales ni una mayor intensidad en ellos.

Por otro lado, Klotzbach y Gray (2008) demostraron que la actividad ciclónica en la cuenca del Atlántico entre 1880 y 2004 tiene una correlación directa a la fase de la AMO, por ende, se puede deducir que las precipitaciones extremas ocasionadas por huracanes también son reguladas por esta oscilación.

El poco conocimiento que se tenía sobre lo que regulaba la ocurrencia de ciclones tropicales llevó a pensar a gran parte de la comunidad científica que el aumento de los ciclones tropicales (CT) en la cuenca del Atlántico, luego de 1995, se debía al calentamiento global; pero se demostró



que no había injerencia del aumento de la temperatura por el calentamiento global y que, a su vez, era un ciclo más de la AMO, la cual, debido a que tiene una duración de alrededor de 70 años, puede ocasionar entre 20 y 40 años de menos (o más) CT en comparación con los promedios, en la cuenca del Atlántico y el Caribe durante la fase negativa (positiva). De la misma manera, [Klotzbach y Gray \(2008\)](#) han demostrado que en las fases positivas de la AMO hay una mayor frecuencia de huracanes de mayor intensidad y una mayor cantidad de días de afectación, como ocurrió con el aumento en la cantidad de CT desde el año 1995 en el Atlántico y el Caribe.

3.3.2 Variaciones en la temperatura en Centroamérica

Entre las afirmaciones más verificadas de artículos científicos que hacen referencia al cambio climático —y específicamente sobre la región de Mesoamérica y el Caribe— está la que plantea que las variaciones en la temperatura del aire, en los últimos 60 años, ha ido en incremento de manera congruente con el aumento de la temperatura del planeta ([Aguilar et al., 2005](#)), ha ocurrido a un ritmo mayor del que naturalmente se ha calentado en los últimos 800 mil años. Sin embargo, las temperaturas máximas diarias no tienen variaciones tan importantes como las mínimas, que han tenido un aumento estadísticamente significativo en los últimos 30 años en toda la región de Centroamérica y el Caribe y, por consiguiente, en las temperaturas promedio ([Alfaro, Hidalgo y Quesada-Montano, 2015](#)). Lamentablemente, hasta el año 2015 aún no se tenían estudios conjuntos en la región que abarcaran la escala temporal y espacial del cambio climático, pero sí se han hecho conclusiones con base en estudios globales comparando con datos regionales; esto implica que dichos resultados hacen referencia a variabilidad climática por ser estudios con datos de 50 o 60 años en el mejor de los casos.

Por otro lado, hay estudios como los de [Rohling et al. \(2008\)](#) y [Kopp, Simons, Mitrovica, Maloof, & Oppenheimer \(2009\)](#) sobre las variaciones del nivel del mar durante los diferentes ciclos glaciares, entre ellos se acuerda que hay congruencia con la hipótesis de que el planeta se encuentra en un período interglaciar ([Siddall et al., 2003](#)), de calentamiento continuo, con un derretimiento de los casquetes polares y un aumento del nivel del mar, así como de un aumento en la acidez de los océanos consecuencia de un aumento en la captura de carbono. Por ello, es extremadamente difícil establecer responsabilidades absolutas y encontrar soluciones a los cambios debido al calentamiento global. Sin embargo, hay estudios recientes que sugieren que la acidificación de los océanos se ha presentado con una mayor velocidad que la natural ([International Geosphere-Biosphere Programme \[IGBP\], 2013](#)). Las variaciones en la temperatura global, al ocasionar cambios en la salinidad de los océanos, podría tener impactos en las corrientes oceánicas que modulan el clima global; no obstante, cómo cambiarán las corrientes y cuáles serán las que cambien, aún son hipótesis que no se han podido comprobar, debido a lo dinámico y complejo de los sistemas globales. Algo que complica aún más el escenario es la existencia de regiones que se han enfriado en los últimos años, y glaciares que han estado creciendo, evidenciando la no linealidad del clima.

[Riccardi \(2008\)](#) expone que el ciclo de vida de muchos insectos está asociado a las variaciones en la temperatura del ambiente, al igual que el tamaño se podría relacionar con el contenido de oxígeno en la troposfera. El aumento en las temperaturas registradas en los últimos años en



el planeta afectará el desarrollo de muchos animales, y aún más de los insectos que son parte esencial en la polinización de muchas plantas. Por tanto, deberían preocuparnos estos aumentos sostenidos en las temperaturas del planeta, debido a que se cree que el cambio climático solamente afectará en un futuro lejano (40 años o más) y la fauna será únicamente desplazada por los cambios en la precipitación y nivel del mar, sin embargo, los cambios recientes en la temperatura ya han tenido impacto en poblaciones de insectos, anfibios, peces y crustáceos entre otros.

En Centroamérica aún no se han estudiado sistemáticamente las variaciones en el comportamiento salvaje de las abejas y otros insectos polinizadores y eslabones en muchas cadenas alimenticias debido a los cambios en las temperaturas por el calentamiento global. Cambios de apenas 2 °C podrían acortar el ciclo de vida de muchos insectos, afectando no solo su apareamiento sino influenciando el desarrollo de frutas e impidiendo la reproducción de muchas variedades de plantas. Aunque las variaciones del clima en los últimos años en Centroamérica solo indican que habrá alteraciones en las temperaturas y posiblemente en el nivel del mar, más no así en la precipitación, estos pequeños cambios son suficientes para producir desbalances en cadenas alimenticias completas y llevar a problemas graves como la disminución de las poblaciones de abejas en nuestra región. Por tanto, concienciar sobre tomar medidas para enfrentar el aumento en las temperaturas globales y regionales es de suma importancia para poder unir a la sociedad y a quienes toman las decisiones.

3.4 Los aerosoles y el IPCC

Los aerosoles son componentes química y físicamente esenciales en la atmósfera y en las variaciones en su temperatura. Según Flato et al. (2013), pequeñas variaciones en las concentraciones de aerosoles pueden tener efectos importantes en los cambios de la microfísica de las nubes, siendo estos uno de los principales problemas que enfrenta la comunidad científica al desarrollar escenarios de cambio climático (ECC). La influencia de los aerosoles en la atmósfera varía dependiendo de su tiempo de vida medio y su comportamiento en la atmósfera, por lo que los niveles de confiabilidad de las simulaciones climáticas varían de manera importante para cada tipo de aerosol. El informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), elaborado por Flato et al. (2013), presenta las influencias que pueden tener los diferentes aerosoles en el forzamiento radiativo. Los aerosoles como CO₂ y CH₄ son los de mayor influencia antropogénica en los forzamientos radiativos, responsables de variaciones de 3 Wm² con un error de 1,3 Wm² (casi un 45% del valor de la medición). Se observa, además, que existe un comportamiento inverso al calentamiento con los aerosoles que interactúan con las nubes, la radiación y la estela de condensación que favorecen el ingreso de menos radiación solar entre 0,5 y 1 Wm² con una incertidumbre de caso 0,8 Wm², por lo que la confianza en este resultado es menor (Flato et al., 2013).

Por otro lado, Moss et al. (2010) señalan que uno de los errores más graves en el informe del IPCC de 2007 es que no existe una subdivisión entre gases efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O) que producen un aumento en la temperatura global y los aerosoles (SO₂, BC, OC, CO, NO_x y VOCs). Dependiendo de su interacción, ellos pueden favorecer un aumento o disminución de las temperaturas, funcionando como núcleos de condensación o favoreciendo lo que se



denomina oscurecimiento global, lo cual puede tener implicaciones principalmente al provocar una disminución en la radiación solar incidente, tal y como lo demuestran [Streets \(2006\)](#) y [Wild \(2012\)](#), donde se resalta la influencia de los sulfuros y el carbono negro en el proceso de oscurecimiento global.

La incorporación de gases como el CO₂, mayormente de origen antropogénico en los océanos, tiene como consecuencia la acidificación progresiva de las aguas someras, según [Flato et al. \(2013\)](#). El pH del agua del océano superficial ha disminuido en 0,1 desde el comienzo de la era industrial (nivel de confianza alto), lo que corresponde a un aumento del 26% en la concentración de iones de hidrógeno. Las tendencias observadas del pH oscilan entre -0,0014 y -0,0024 por año en las aguas superficiales, es decir, los océanos se vuelven cada vez más ácidos. [Boer, Flato & Ramsden \(2000\)](#) demostraron, a través de varias simulaciones, que el aumento de la población global es uno de los factores más determinantes en el calentamiento global, principalmente por el aumento en el consumo de alimentos. Se observa un aumento de casi 250% de CH₄ por rumiantes, consecuencia del aumento de la actividad ganadera, y en total las emisiones antropogénicas representan más de un 50% ([Flato et al., 2013](#)).

Los nitratos, sulfatos, carbono orgánico, polvo mineral y los aerosoles que interactúan con la nubosidad favorecen un proceso de menor forzamiento radiativo —de 0,5 a 1 Wm² menos— a diferencia del carbono negro que favorece el forzamiento radiativo adicional de 9,5 Wm². Sin embargo, es importante rescatar que estos estudios que mencionan el informe del IPCC tienen un error asociado a cada una de dichas mediciones de más de un 50 % del valor muestreado ([Flato et al., 2013, p. 698](#)). Por ende, es determinante entender mejor el efecto de los aerosoles sobre el clima de la tierra para dar una mayor confiabilidad a los ECC y favorecer una mejor toma de decisiones en la reducción de contaminantes en la atmósfera.

4. Discusión

4.1 Precipitaciones y los modelos numéricos de cambio climático

Cuando se analiza el clima centroamericano en el último milenio, es posible entender cómo los cambios recurrentes que se muestran en la **figura 1** obligan a analizar el cambio climático en una escala temporal mayor a la que se ha venido analizando en los últimos años en la región. En Centroamérica y el Caribe, [Aguilar et al. \(2005\)](#) estudiaron un período de 43 años la precipitación y temperatura entre 1960 y 2003 (en la escala de variabilidad climática); obtuvieron que en los últimos años no hay tendencia significativa de precipitación en la región, es decir, no hay cambios importantes que representen una mayor o menor cantidad de lluvias en la región. La mayoría de los estudios recientes de las variaciones de precipitación no toman en cuenta períodos de estudio de cambio climático de precipitación (más de 70 años) y, sin embargo, los estudios realizados sobre variabilidad climática muestran que no hay variaciones en las tendencias de lluvia en la mayor parte de Centroamérica como lo sugieren [Alfaro et al. \(2015\)](#).

Las variaciones de precipitación en períodos de estudio menores a 70 años podrían caer en el error de mostrar tendencias de lluvia debido a la variabilidad climática, es decir, la afectación



por oscilaciones de baja frecuencia como la AMO, PDO, entre otras. Incluso en la **figura 1** se muestra un patrón interesante donde cada 4 o 5 siglos ocurre mayor cantidad de inundaciones y sequías no documentadas antes como un cambio periódico.

Por otro lado, es importante recalcar que en los últimos 40 años la fase positiva de la AMO ha favorecido una mayor frecuencia e intensidad en los huracanes que se formaron en la cuenca del Atlántico y mar Caribe, según [Klotzbach y Gray \(2008\)](#), favoreciendo también un pequeño aumento en las lluvias, ocasionado por la misma variabilidad climática en la región; es decir, no asociado al cambio climático ni al aumento de la temperatura global que se ha presentado en el período entre los años 1970 a 2015.

Las estimaciones de los impactos del cambio climático antropogénico se basan en las proyecciones de los modelos climáticos. Las incertidumbres han sido a menudo un factor limitante en dichas proyecciones, en particular a escala local, debido a la existencia de microclimas. Entre muchos, los modelos que se basan en la utilización de la celda de Hadley, como Precis, tienden a sobreestimar los anticiclones del Atlántico, es decir, la circulación que tienen los vientos alisios en el Atlántico norte, generando sesgos con resultados como pronósticos de escenarios secos en el Pacífico centroamericano y más lluvia en el Caribe por un simple error en la parametrización del modelo, esto es, el modelo no representa (parametriza) correctamente la atmósfera regional. Según [Knutti y Sedláček \(2013\)](#), otros modelos numéricos que presentan errores sistemáticos de antemano en las simulaciones de lluvia y sobreestimaciones en los vientos alisios en el Caribe son el CMIP5 y el utilizado por NCAR CCSM4, los cuales presentan una gran parte de los modelos que han sido utilizados en los pronósticos de cambio climático entre 2011 y 2015. Se esperaba que una nueva generación de modelos numéricos más complejos se utilizara en la creación de los escenarios del Quinto Informe de Evaluación del Clima del IPCC (AR5, por sus siglas en inglés), y tal vez ingenuamente, se pretendía que proporcionaran proyecciones más detalladas y con menor error e incertidumbre; sin embargo, ese proceso no ocurrió principalmente por la falta de recursos.

Por ello, llegar a conclusiones que generalicen que existe un cambio climático únicamente tomando variables a nivel de país, induciría a una serie de errores importantes; sin embargo, cuando se toman estudios que utilizan datos globales presentados por el IPCC -como [Aguilar et al. \(2005\)](#)- se sesgan al campo de la variabilidad climática los estudios de cambio climático globales por la ausencia de datos observados en la región. Adicionalmente, los estudios regionales pueden estar utilizando datos con deficiente calidad, debido a errores derivados por la falta de homogeneización de los datos registrados o la mezcla de datos de estaciones que utilizan diferentes tecnologías.

Lamentablemente, en la región el desgaste de los instrumentos, los cambios en las tecnologías o la carestía de datos observados introducen sesgos y errores sistemáticos en las mediciones, y conllevan a conclusiones que podrían estar equivocadas. Este es uno de los principales problemas en algunos de los estudios de cambio climático que se exponen en la región. Establecer conclusiones con estas limitaciones, que muchas veces incluso no son estadísticamente significativas, termina analizando la variabilidad climática y no necesariamente el cambio climático; por ello, la poca cantidad de artículos y bibliografía regional que se utiliza para la elaboración del IPCC.



4.2 La politización del cambio climático

Es importante preguntarse, ¿cuántos de quienes dicen preocuparse por el cambio climático utilizan vehículos eléctricos, y si los usan los recargan con energías limpias? ¿Cuántas de estas personas están luchando por alguna nueva ley que exima de impuestos a los vehículos eléctricos o híbridos? ¿Estamos dispuestos a renunciar a las comodidades de la era actual (combustibles fósiles baratos, excesivos gastos de electricidad o alimentos que producen gastos excesivos de agua o electricidad) para luchar contra la variable del cambio climático de origen antropogénico, o es un discurso hipócrita del que simplemente hacemos uso cuando necesitamos obtener financiamiento? ¿Cuántos conocen la huella de agua que tiene una hamburguesa, o simplemente cuantos estamos dispuestos a sacrificar el uso de nuestros vehículos para utilizar transporte público por el hecho que emite menos?

Por ejemplo, [Palao y Felandro \(2014\)](#) analizaron los recursos que se utilizaron en Perú para luchar contra el cambio climático durante el año 2014 y estimaron que se utilizaron aproximadamente 52 millones de dólares. En contraposición, el financiamiento para estudios de variabilidad climática y monitoreo de eventos extremos fue limitado —únicamente para el pago de salarios—, y menos de medio millón de dólares para la adquisición y mantenimiento de equipos.

En los últimos años, la “lucha” de ciertas organizaciones contra el “cambio climático” ha desvirtuado el problema real, se ha politizado y convertido en un negocio para muchos, más de 500 millones de dólares gastados solo en las reuniones o congresos anuales para la “lucha” contra el cambio climático ([Meier, 2014](#)). Sin embargo, la mayoría de los presupuestos de investigación para variabilidad climática (comportamiento del clima en períodos de hasta 70 u 80 años), desarrollo de nuevos modelos numéricos para pronóstico de tiempo y clima a corto plazo, sistemas de alerta temprana e inundaciones, entre muchas otras temáticas relacionadas con el clima, han mermado y no subsisten si quienes investigan no establecen relación de dichas temáticas con el cambio climático. Un ejemplo es el Ministerio de Ciencia y Tecnología de Costa Rica (MICIT), que al sacar a concurso los fondos para investigación, lo relacionado con meteorología, variabilidad climática, modelación numérica, quedaron excluidas de la opción de presupuesto 2015 ([MICIT, 2015](#)) como se puede constatar en los comunicados de dicha institución; pero investigación relacionada al cambio climático y adaptación sí tuvo un componente presupuestario.

Por tanto, a nivel nacional se deberían examinar, seriamente, ciertos aspectos para que, en efecto, se aborde el problema en cuestión. Primero, se debería hacer una revisión estructural de instituciones relacionadas (ej. Dirección de Cambio Climático, Oficina de Implementación Conjunta, Instituto Meteorológico Nacional) para evitar duplicidad de esfuerzos y maximizar resultados. Hacer una revisión de la legislación vigente, de manera que estimule a través de incentivos y regulaciones el desarrollo y adopción de tecnologías y sistemas para su uso y que realmente permitan contrarrestar los problemas significativos de contaminación y alteración del clima. Finalmente, se debe concientizar a la ciudadanía, la cual es, con frecuencia, consumidora desinformada, sobre su papel, responsabilidad, y participación en los esfuerzos locales, regionales y globales que provoquen un desarrollo justo y sostenido.



5. Conclusiones

Los elementos que componen el clima son complejos, no lineales y cambiantes; por tanto, cualquier variación que se introduzca tendrá consecuencias inesperadas. La modelación numérica a escala climática tiene grandes incertidumbres asociadas como para ser evaluadas únicamente con cambios lineales, tal y como lo proyectan los escenarios y las tendencias actuales. Si bien es cierto, esta es la manera más sencilla y simple de poder hacer proyecciones de cambio climático, debemos asumir el reto de comenzar a exigir a nuestra comunidad científica regional mayor rigurosidad y, junto a esto, que los gobiernos apoyen con mayor financiamiento para responder más efectivamente a las amenazas y vulnerabilidades que podrían ocurrir por motivo del cambio climático.

Los estudios científicos deberían trabajarse con suficientes datos en escalas temporales (al menos 60 años) para poder referirse a las variaciones del cambio climático. Igualmente se deben utilizar controles de calidad para homogeneizar y estandarizar series de datos climáticos. La credibilidad de los escenarios futuros del clima se ve comprometida por una gran cantidad de limitaciones técnicas provocadas, frecuentemente, por los limitados presupuestos regionales para investigación climática. Por tanto, urge cambiar la postura de la comunidad internacional sobre el financiamiento del cambio climático a nivel mesoamericano, para darle un enfoque más objetivo, menos político y más pragmático. Se necesita un verdadero enlace entre ciencia y política, sin que la ciencia continúe politizándose con el fin de obtener apoyo financiero.

Finalmente, una mayor precisión de la información climática servirá para presionar a otros sectores económicos y políticos a mejorar sus estructuras, de manera que permitan más efectivamente adaptarnos al cambio climático y mitigar el impacto que podría tener este en la región mesoamericana.

7. Referencias

- Aguilar, E., Peterson, T. C., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., ... & Mayorga. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 110 (D23107).
- Alfaro, E., Hidalgo, H. & Quesada-Montano, B. (2015). Observed (1970-1999) climate variability in Central America using a high-resolution meteorological dataset with potential for climate change studies.
- Boer, G. J., Flato, G., & Ramsden, D. (2000). A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate to the twenty-first century. *Climate Dynamics*, 16(6), 427-450. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s003820050338>
- Castilla, E. B., Quesada, M., & Rodríguez, L. T. (2013). Entre Kioto y Durban. Posición editorial de los medios de referencia ante el cambio climático/From Kyoto to Durban. Mass media editorial position about climate change. *Revista Latina de comunicación social*, (68), 420-435.
- Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S.C., Collins, W., ... & P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York. NY, USA.



- Genthon, C., Jouzel, J., Barnola, J. M., Raynaud, D., & Lorius, C. (1987). Vostok ice core-climatic response to CO₂ and orbital forcing changes over the last climatic cycle. *Nature*, 329, 414-418. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/329414a0>
- International Geosphere-Biosphere Programme. (2013). SCOR, Ocean Acidification Summary for Policymakers—Third Symposium on the Ocean in a High-CO₂ World.
- Kambesis, P. N., & Machel, H. G. (2013). Caves and Karst of Barbados. In *Coastal Karst Landforms* (pp. 227-244). Springer Netherlands. doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-5016-6_10
- Klotzbach, P. (2006). Trends in global tropical cyclone activity over the past twenty years (1986–2005). *Geophysical Research Letters*, 33(10). doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL025881>
- Klotzbach, P., & Gray, W. (2008). Multidecadal variability in North Atlantic tropical cyclone activity. *Journal of Climate*, 21(15), 3929-3935. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/2008JCLI2162.1>
- Knight, J. R., Folland, C. K., & Scaife, A. A. (2006). Climate impacts of the Atlantic multidecadal oscillation. *Geophysical Research Letters*, 33(17). doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL026242>
- Kobashi, T., Goto-Azuma, K., Box, J. E., Gao, C. C., & Nakaegawa, T. (2013). Causes of Greenland temperature variability over the past 4000 yr: implications for northern hemispheric temperature changes. *Climate of the Past*, 9(5), 2299-2317. doi: <http://dx.doi.org/10.5194/cp-9-2299-2013>
- Kopp, R. E., Simons, F. J., Mitrovica, J. X., Maloof, A. C., & Oppenheimer, M. (2009). Probabilistic assessment of sea level during the last interglacial stage.
- Knutti, R., & Sedláček, J. (2013). Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change*, 3(4), 369-373. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1716>
- Levitt, S. (2010). Superfreakonomics. L'importanza di essere un trans, la polizza vita dei kamikaze, l'egoismo dell'altruista: la verità svelata dai numeri. Sperling & Kupfer editori.
- Mantua, N. J., Hare, S. R., Zhang, Y., Wallace, J. M., & Francis, R. C. (1997). A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(6), 1069-1079. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069:APICOW>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2)
- Meier M. (2014). COP20: ¿Lima está preparada para albergar esta gran cita? 1 de mayo 2016, de *El Comercio*. Recuperado de <http://elcomercio.pe/ciencias/planeta/cop20-lima-esta-preparada-albergar-esta-gran-cita-noticia-1707109>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones. (2015). Fondo de incentivos del Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2015. Comisión de Incentivos del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones. San José, Costa Rica: Autor.
- Milankovitch, M. (1920). *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire* (Vol. 339). Paris.



- Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning, M., Rose, S., van Vuuren, D., & Wilbanks, T. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment.
- Organización Mundial de Meteorología. (2011). *Guía de prácticas climatológicas*. Edición 100.
- Palao, M., y Felandro, I. (2014). Presupuestos públicos para el cambio climático en Perú. Grupo de financiamiento climático. Lima, Perú. Recuperado de <http://informes.gflac.org/>
- Palmer, W. C. (1965). *Meteorological drought* (Vol. 30). Washington, DC, USA: US Department of Commerce, Weather Bureau.
- Power, S., Casey, T., Folland, C., Colman, A., & Mehta, V. (1999). Inter-decadal modulation of the impact of ENSO on Australia. *Climate Dynamics*, 15(5), 319-324. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s003820050284>
- Riccardi, A. C. (2008). Vida en la Tierra. *Ciencia Hoy*, 18(103), 7-21.
- Rohling, E. J., Grant, K., Hemleben, C. H., Siddall, M., Hoogakker, B. A. A., Bolshaw, M., & Kucera, M. (2008). High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Geoscience*, 1(1), 38-42. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo.2007.28>
- Siddall, M., Rohling, E. J., Almogi-Labin, A., Hemleben, C., Meischner, D., Schmelzer, I., & Smeed, D. A. (2003). Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. *Nature*, 423(6942), 853-858. doi: <http://dx.doi.org/10.1038/nature01690>
- Solomon, S. (Ed.). (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge University Press.
- Stahle, D.W., Díaz, J., Burnette, D., Paredes, J., Heim, R. & Fye, F. (2011). Major Mesoamerican droughts of the past millennium. *Geophysical Research Letters* 38(5). doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2010GL046472>
- Streets, D. G., Wu, Y. & Chin, M. (2006). Two-decadal aerosol trends as a likely explanation of the global dimming/brightening transition. *Geophysical Research Letters*, 33(15). doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2006GL026471>
- Van Vliet-Lanoë, B. (2005). *La planète des glaces. Histoire et environnements de notre ère glaciaire*. Paris: Vuibert.
- Wild, M. (2012). Enlightening global dimming and brightening. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(1), 27-37. doi: <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00074.1>