

*-Artículo por Invitación-*

# APUNTES PARA LA AGENDA DE INVESTIGACIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

José Clemente Rueda Abad<sup>1</sup>  
clementerueda73@gmail.com

Carlos Gay García<sup>1,2</sup>  
cgay@servidor.unam.mx

Liliana López Morales<sup>1</sup>  
gmartine@ecosur.mx

1 Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM  
2 Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM

Para citar este artículo:

Gay, C., López, L- y Rueda, J. (2015) Apuntes para la agenda de investigación de cambio climático en México. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 4 (9), 9-34. doi: 10.31644/IMASD.9.2015.a01



## RESUMEN

El cambio climático es un reto para las comunidades académicas y es un tema de frontera para muy diversas disciplinas científicas. El cambio climático, por sí mismo, implica necesariamente un cambio en los paradigmas sociales, políticos económicos y culturales. Esta área de estudio requiere de la creación de una agenda de investigación académica que contribuya a la transición del desacoplamiento del crecimiento económico de las emisiones de gases de efecto invernadero.

***Palabras Clave.***

*Cambio climático, Modelo climático, Agenda científica multifdisciplinaria*

## NOTES FOR THE RESEARCH AGENDA ON CLIMATE CHANGE IN MEXICO

### — *Abstract* —

Climate change is a subject of academic forefront; it is at the frontier of knowledge from different scientific disciplines. Climate change, by itself, necessarily implies a change in the social, political, economic and cultural paradigms. This feature is what entails the creation of a scientific agenda that contributes to the transition to phase that allows the uncoupling of economic growth from the emission of gases with a global warming potential.

### ***Keywords.***

*Climate change, climate modeling, scientific agenda, multidisciplinary*

**E**l cambio climático es un hecho científicamente probado y cada año se suman datos que corroboran la existencia de este fenómeno causado por las actividades humanas. Por ello, es necesario que la investigación del tema se mantenga. En ese contexto, el cambio climático tiene el reto de generar y consolidar sus propias metodologías, pero además promover la realización de investigación multidisciplinaria.

Por ello, la investigación del cambio climático debe trascender el ámbito de lo novedoso y la boga para convertirse, en el mediano y largo plazo, en un área medular del crecimiento económico y el desarrollo social de México. La investigación en cambio climático no solo debe dedicarse a replicar las investigaciones realizadas en otras partes del mundo, sino que ésta debe buscar convertirse en un área de frontera académica que sirva, en sí misma, como una estrategia de adaptación social.

### ¿QUÉ ES EL CAMBIO CLIMÁTICO?

El cambio climático puede definirse como un desbalance de energía de la atmósfera. Este desbalance ha sido provocado por el calentamiento global, que a su vez ha sido causado por la excesiva concentración de gases de tipo efecto invernadero vertidos a la atmósfera desde la Revolución Industrial del siglo XIX.

El efecto invernadero por sí mismo no es algo que pueda considerarse como negativo para el planeta, de hecho gracias a que la atmósfera puede cumplir la función de conservar calor y humedad es lo que, entre otras cosas, ha permitido que este planeta tenga vida. Esta afirmación adquiere sentido cuando se considera que sin la presencia del efecto invernadero la temperatura promedio real del mundo sería de al menos 18°C por debajo de cero. Gracias a la estabilidad termodinámica de la atmósfera el diferencial de temperaturas es de 33°C ya que la temperatura promedio habitual del planeta es de 15°C. (Garduño, 2004, p. 28)

Si bien es cierto que la atmósfera cumple con muy diversas funciones, sin embargo en el caso que nos ocupa nos hemos de centrar en la ya referida capacidad que tiene de concentrar energía porque gracias a ella es que puede regularse la temperatura, las cantidades de humedad, las precipitaciones; por lo que la atmósfera es un factor determinante del estado del tiempo y del clima.

Uno de los elementos fundamentales en esta preocupación mundial por la atmósfera se deriva de la temporalidad del cambio de clima que vive el mundo. Es ese sentido, es necesario decir, que el planeta ya ha sufrido cambios de clima en el pasado, sin embargo éstos se gestaron y consolidaron en periodos de tiempo muy amplios y normalmente se identificaron con transiciones climáticas en diferentes eras geológicas. Esta área de análisis de los cambios de clima en el pasado, pueden ser documentados con diversas técnicas como el análisis de los sedimentos lacustres en la riberas de los ríos y los lagos, el permafrost, los anillos de los árboles y otras muchas herramientas de este tipo. A esta área de investigación se le denomina paleoclimatología y es parte de la agenda de investigación del cambio climático. (Lozano, 2004, pp. 65-76)

Dicho de otra manera, en la historia natural del planeta, los cambios de clima han sido una constante; la diferencia entre un cambio de clima natural y el cambio climático del que se habla en la actualidad, y de acuerdo a los datos que se tienen, es que ésta nueva fase de calentamiento ha sido causado por las actividad humanas que se han enfocado a incrementar los niveles de bienestar y desarrollo de las naciones y sus habitantes. La temporalidad del inicio de la denominada Revolución Industrial nos lleva directamente a la parte media del siglo XIX. Es decir que en tan solo 150 años en promedio la humanidad ha inducido un cambio de clima que de manera natural le hubiera llevado al planeta miles de años generarlo.

En este muy corto periodo de tiempo, lo que la humanidad le ha hecho a la atmosfera es inducirle una modificación de los balances naturales de sus componentes de una forma no natural; es decir, que se ha dado una excesiva concentración de gases que tienen potencial de calentamiento global con lo cual se impide la salida regular de los

excedentes de energía hacia el espacio exterior y éstos quedan atrapados en la atmósfera terrestre por lo que se ha estado incrementando la temperatura del planeta. Por tanto, existe una correlación directa entre la mayor cantidad de gases de tipo efecto invernadero en la atmósfera con la elevación de la temperatura promedio global.

Por esta razón es que Paul Crutzen en medio de un debate académico sugirió la idea de considerar al período que vivimos actualmente como el antropoceno. Esta aportación se mueve en el paradigma de que los cambios de clima se caracterizan por ser etapas de transición entre eras geológicas muy largas y la que se vive actualmente ha sido resultado de la modificación en el balance de energía de la atmósfera, tanto que el cambio es imparabile dando lugar a escenarios de vida que no cuentan, cuando menos en este momento, con muchas certezas. Paul Crutzen escribió formalmente sobre esta tesis en el año 2000 y a partir de ahí se ha gestado una vertiente de investigación que poco a poco va en aumento. Por sí mismo el análisis del antropoceno debe considerarse como uno de los temas de la agenda científica actual no solo en el contexto de cambio climático. (Crutzen y Stoermer (2000); Duarte Quesada, Carlos M. (Coord) (2006); Di Donato, Monica (2009); Vilches y Gil (2009); González, José A. y Carlos Montes (2010); Schwägerl, Christian (2011); Fernández Durán, Jorge (2011); Irwin, Ruth (2011); y Syvistki, James (2012).

## COMPROBACIÓN CIENTÍFICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La correlación incremento de gases de efecto invernadero-elevación de la temperatura global es algo relativamente nuevo en el estudio de la atmósfera (características y funciones) y puede rastrearse hasta los inicios del siglo pasado. Son tres los autores que pueden ser considerados como los pioneros de esta área de investigación. En primera instancia se encuentra Svante Arrhenius con el documento denominado “Über die Wärmeabsorption Durch Kohlensäure und Ihren Einfluss auf die

Temperatur der Erdoberfläche.” pero que no se popularizó hasta el año de 1908 cuando el documento fue publicado en inglés. (Arrhenius, S. 1901; 1908). Después de él, se encuentra Guy Stewart Callendar que publicó el artículo denominado “The artificial production of carbon dioxide and its influence on climate” (Callendar, 1938). Esta vertiente de los pioneros en esta área de investigación la cierra Roger Revelle quién en 1957 publicó “Carbon dioxide exchange between atmosphere and ocean and the question of an increase of atmospheric CO<sub>2</sub> during the past decades” (Revelle and Suess, 1957).

A partir de ese momento, se ha gestado un área de investigación que ha sido promovida por diversas entidades académicas y por entidades pertenecientes a la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Esta vertiente de investigación de carácter científico e instrumental puede rastrearse en los resultados de la Primera Conferencia Mundial del Clima que fue organizada por la Organización Meteorológica Mundial en el año de 1979. El resultado de dicha reunión fue que la comunidad científica salió con la tarea de comprobar la existencia del cambio climático, porque ya se tenían las sospechas de que las actividades humanas podían estar causando un desajuste en el sistema térmico del mundo (IISD, 2009, p.1).

En ese sentido lo que hay que destacar es que el Panel Intergubernamental de Cambio Climático, (IPCC por sus siglas en inglés) creado en conjunto por el Programa de Naciones para el Medio Ambiente y la ya referida Organización Meteorológica Mundial en el año de 1988 en Toronto, Canadá, entiende al clima, en un sentido restringido, como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como 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 millares o millones de años. El período de promediación habitual es de 30 años” (IPCC, 2007, p. 78).

Partiendo de la definición restringida del clima, el IPCC entiende al cambio climático como una Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones

del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a *forzamientos externos* o a cambios antropógenos persistentes de la composición de la *atmósfera* o del *uso de la tierra*. (IPCC, 2007, p. 77).

Basándose en la definición de clima que maneja el IPCC y teniendo eso de fondo como arranque de la agenda de investigación en su tarea de comprobar la existencia del cambio climático (tarea que ha sido encausada por el IPCC desde su creación a la fecha) entonces se sobreentiende que lo que sucedió fue que la comunidad científica tuvo, necesariamente, que hacer una búsqueda de datos históricos tanto de temperatura, como de precipitación para poder comprobar o refutar la hipótesis de trabajo.

De hecho la comprobación de este problema, con un 90% de confianza (Conde, 2010, p.17), se anunció al mundo en el año 2007 con la publicación del Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC y dicha certeza se ha ampliado con la aparición del Quinto Reporte de Evaluación de ese mismo organismo.

En la actualidad la existencia del cambio climático no ha podido ser refutada, incluso puede decirse que cada año se confirma su existencia ya que la Organización Meteorológica Mundial publica anualmente el reporte del Estado Mundial del Clima, y en el correspondiente al del año 2014 se ha enfatizado que los todos los años transcurridos desde el año 2000 se encuentran en el rango de los 20 años más calientes “14 de los 15 años más cálidos desde que se mantienen registros se han dado durante el siglo XXI [...], lo cual demuestra, que “el calentamiento de la Tierra está provocado por la actividad humana.” (OMM, 2015, p. 2)

Ahora bien, la preocupación mundial del cambio climático no solo se ubica en el hecho de los impactos adversos probables que el cambio climático generaría en el mundo y sobre los que se ha abierto una espiral de incertidumbre para la toma de decisiones de carácter político en la materia. Otro elemento que preocupa a la comunidad académica dedicada al análisis del cambio climático tiene que ver con la tempo-

ralidad de los efectos provocados en el sistema climático causados por el incremento de las concentraciones de gases efecto invernadero.

La premisa de estos escenarios a largo plazo son simples: si las sociedades del mundo implementan acciones de mitigación y se estabilizan las emisiones hacia finales del presente siglo aun así la estabilización de la temperatura global tardaría varios siglos en volverse a regular y la elevación del nivel del mar tardaría al menos un milenio.

Como ya se dijo, la existencia de cambio climático cuenta con un elevado nivel de consenso científico, es ese entendido la correlación emisiones-cambio climático ha buscado ser revertida o cuando menos desacoplada. Lo que se ha propuesto no es que los países dejen de buscar el incremento de sus niveles de bienestar y desarrollo económico, sino que las actividades económicas se desacoplen de la emisión de gases de tipo efecto invernadero, para lo cual la reducción de emisiones ha adquirido un papel central en el tema del cambio climático.

Sobre lo que respecta al incremento de la temperatura, ésta ha sido colocada por la *diplomacia climática internacional* en el rango de los 2°C sin embargo dicho umbral debe partir de un hecho significativo: desde “1880 al 2012 la temperatura media global se ha incrementado en 0.85°C” (IPCC, 2014, p.2).

## LOS RETOS ACADÉMICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNDO

Si el cambio climático está relacionado de manera directa con la forma y los modos en los que las sociedades del mundo han obtenido sus estándares de crecimiento económico y desarrollo social, entonces eso hace evidente que las sociedades deben modificar sus paradigmas. Se trata, en otras palabras de imaginar un tipo de mundo que sea diferente y en el que la existencia de la especie humana esté garantizada en los mejores términos posibles, no solo para los que habitamos el planeta actualmente, sino también para las futuras generaciones.

En este caso, la ciencia debe proveer a los políticos y tomadores de decisiones de todo el mundo, en la medida de lo posible, de la información científica más detallada sobre los escenarios de futuro que se prevén y al mismo tiempo ensayar opciones de solución a dichos problemas.

En ese entendido la agenda de investigación más actual está siendo coordinada por el IPCC. Dicha información fue dada a conocer en su Quinto Reporte de Evaluación y tiene la misma estructura de los cuatro reportes presentados previamente: es decir el grupo I está dedicado a perfeccionar el conocimiento de las bases científicas del cambio climático, el grupo II está enfocado al análisis de los impactos, las amenazas y las estrategias de adaptación; también cuenta con un análisis por regiones continentales, los pequeños estados insulares, las regiones polares y los océanos abiertos. Finalmente el grupo de trabajo III está dedicado al análisis de las estrategias de mitigación, pero además incorpora criterios de análisis políticos sobre la toma de decisiones en un contexto de incertidumbre y posibles fuentes de financiamiento.

Los temas revisados, por cada uno de los grupos de trabajo del Reporte fueron:

### **Temas del Grupo de Trabajo 1**

- Observaciones: atmósfera y la superficie, los océanos y la criosfera
- Información para archivos paleoclimáticos
- Carbono y otros ciclos biogeoquímicos
- Nubes y Aerosoles
- Forzamiento radiativo antropogénico y natural
- Evaluación de los modelos climáticos
- La detección y atribución del cambio climático: de lo global a lo regional
- Cambio climático a corto plazo: las proyecciones y la previsibilidad

- Cambio climático a largo plazo: proyecciones, compromisos e irreversibilidad
- Cambio en el nivel del mar
- Fenómenos climáticos y su relevancia para el cambio climático futuro a nivel regional

## **Temas del Grupo de Trabajo 2**

### *Parte A: Aspectos globales y sectoriales*

- Bases para la toma de decisiones

### *Recursos y sistemas naturales como objeto de ordenación y sus usos*

- Recursos de agua dulce
- Terrestre y sistemas de aguas continentales
- Sistemas costeros y zonas bajas
- Sistemas Oceánicos
- Sistemas de producción de alimentos y la seguridad alimentaria

### *Asentamientos Humanos, Industria e Infraestructura*

- Áreas urbanas
- Áreas rurales
- Principales sectores económicos y servicios

### *La salud humana, el bienestar y la seguridad*

- Salud humana
- Seguridad humana
- Medios de vida y pobreza

### *Adaptación*

- Necesidades y opciones de adaptación
- Planificación y ejecución de la adaptación
- Oportunidades de adaptación, las restricciones y los límites
- Economía de la adaptación

### *Impactos Multi-Sectoriales, riesgos, vulnerabilidades y oportunidades*

- Detección y reconocimiento de los efectos observados
- Riesgos emergentes y vulnerabilidades clave
- Caminos resilientes al clima: adaptación, mitigación y desarrollo sostenible

### *Parte B: Aspectos regionales*

- Contexto regional
- África
- Europa
- Asia
- Australasia
- América del Norte
- Centro y Sudamérica
- Regiones polares

- Pequeñas Islas
- océanos abiertos

### **Temas del Grupo de Trabajo 3**

#### *Cuestiones a resaltar*

- Reporte de respuestas políticas implementadas en cambio climático bajo manejo de riesgo e incertidumbre
- Conceptos y métodos sociales, económicos y éticos
- Desarrollo sostenible y equidad

#### *Caminos para mitigar el cambio climático*

- Controladores, tendencias y mitigación
- La evaluación de caminos de transformación
- Sistemas de energía
- Transporte
- Edificios
- Industria
- Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo
- Asentamientos humanos, infraestructura y ordenación del territorio

#### *Evaluación de políticas, instituciones y finanzas*

- Cooperación Internacional: acuerdos e instrumentos
- Desarrollo Regional y Cooperación
- Políticas e Instituciones Nacionales y Subnacionales
- Inversiones y Finanzas (Cuestiones transversales)

## EL RETO DEL FINANCIAMIENTO CLIMÁTICO GLOBAL COMO TEMA DE INVESTIGACIÓN

Al momento no existe un costo estimado suficientemente consistente sobre cuánto cuesta el cambio climático, por ejemplo Nicholas Stern ha dicho que este fenómeno “equivaldría a perder entre 5% y 20% del PIB mundial anual todos los años.” (Stern, 2007, XV) y por otro lado, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, (CMNUCC) ha señalado que sólo para la mitigación se requeriría una “inversión adicional global y flujos financieros de entre 200 y 210 mil millones de dólares en el año 2030” (CMNUCC, 2007, 6) en tanto que para la adaptación la misma Convención no ha sido capaz de dar un estimado.

Aun así, el financiamiento climático se ha estado realizando desde que se creó la Convención Marco de Cambio Climático, a través del Global Environment Facility y de diversos instrumentos y fondos financieros existentes a la fecha. En ese sentido, este tipo de financiamiento puede incluirse en la economía verde porque “genera bajas emisiones de carbono, utiliza los recursos de forma eficiente y es socialmente incluyente” (PNUMA, 2011, p. 18)

El financiamiento climático es aquel que busca “reducir las emisiones y aumentar los sumideros de gases de efecto invernadero y su objetivo es reducir la vulnerabilidad de, y mantener y aumentar la resiliencia de los sistemas humanos y ecológicos a los impactos negativos del cambio climático.” (CMNUCC, 2014, p. 19) pero se encuentra inmerso dentro de un contexto social y económico mundial de libre mercado por lo que los beneficios ambientales de la reducción de emisiones se han colocado dentro de debates que van más allá de lo ambiental y los beneficios derivados de su implementación, por eso en el contexto de discusión académica mundial se pueden encontrar debates que versan sobre qué y cómo financiar la transición a economías descarbonizadas (Clapp, Ellis, Benn y Corfee-Morlot, 2012); se ha revisado el papel que juegan los mecanismos de financiamiento rápido (Nakooda S., *et al.*, 2013), y también se ha debatido sobre qué tipo de instituciones deben

intervenir en la financiación del cambio climático para poder mantener el principio de la economía mixta y el libre mercado global imperante desde la década de los 80 del siglo XX. (Smallridge D., *et al.*, 2012)

Dada esta complejidad de análisis, y considerando que existen más de 20 fondos financieros a los cuales pueden acudir los países se puede decir que, como tema de investigación, la estrategia global de financiamiento es “desordenada y complicada, con múltiples fondos, cada uno de los cuales tiene sus propios objetivos, lógica interna y formas de funcionar” (CEPAL, 2015, p. 8) de lo cual se desprende que los académicos ayuden a perfilar cómo debe ser y hacerse el financiamiento climático en escalas globales, regionales y nacionales.

## LOS RETOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA COMUNIDAD CIENTÍFICA MEXICANA

El cambio climático brinda la oportunidad de hacer las cosas distintas de cómo se han venido haciendo hasta el momento. Entonces lo primero que debe saberse es qué tipo de temas harán eco en la comunidad científica mexicana. En segunda instancia, qué tipo de científicos se deben incorporar en esta tarea y, finalmente, cuál es la importancia de este tipo de investigación para el futuro de México.

En primera instancia es necesario que la comunidad científica incorpore la agenda de investigación del IPCC y la adapte a las necesidades de México; es decir, si el mundo está buscando perfeccionar no solo la información de clima, los escenarios de éste, será menester que toda la vertiente de investigación permee el quehacer científico nacional. No sólo se trata de tropicalizar los temas del IPCC, sino ver la realidad y los escenarios climáticos para México de manera regionalizada. (Conde et al, 2010) Tampoco se trata de que la comunidad científica mexicana se conforme solamente con hacer un gran inventario de la investigación que ya se ha realizado en México, de lo que

trata es hacer una ciencia climática que forme parte de la vanguardia mundial en la temática.

En México, la temática de cambio climático debe servir para responder también preguntas de carácter más amplio y que tendrían que ver con la seguridad e integridad de las personas en el contexto de cambio climático, cuándo, cómo y cuánto costaría el impulsar la innovación tecnológica endógena que le permita al país impulsar una renovación de su parque industrial, usando energías alternativas desarrolladas por investigadores mexicanos.

Necesariamente se debe ingresar al debate académico mundial sobre emisiones bajas de carbón, Economía verde y Crecimiento verde para entender cuáles son los caminos que se habrán de seguir en los próximos años en todo el mundo en materia de cambio climático. En la dimensión económica se debe incursionar en el análisis sobre la cooperación internacional y los mecanismos de financiamiento existentes a la fecha y el papel que habrá de jugar el Green Climate Fund en la arquitectura financiera para cambios climáticos, que comenzará a operar a partir del 2020.

En el contexto del cambio climático, en la elaboración del Quinto Reporte de Evaluación del IPCC México fue colocado en la Región de Norteamérica junto con los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá. De hecho con ellos tiene vigente el Tratado de Libre Comercio de América del Norte, sin embargo en el ámbito de las negociaciones internacionales de clima México no negocia junto con sus socios comerciales del bloque regional donde lo ha colocado el IPCC; ya que tanto los canadienses, como los estadounidenses forman parte del Anexo I del Protocolo de Kyoto (aunque los Estados Unidos no lo han ratificado y Canadá ha dejado de pertenecer al instrumento), en las negociaciones de clima, México forma parte del Grupo de Integridad Ambiental (conformado por la República de Corea, Mónaco, Liechtenstein, Suiza y México) y por lo mismo ha dejado de negociar al lado del bloque regional latinoamericano; México en el contexto internacional no forma parte de los grupos de trabajo del continente americano. Esta circun-

stancia por sí mismo es uno de los temas que forman parte de la agenda de investigación de nuestro país en el contexto de cambio climático.

En el Quinto Reporte de Evaluación del IPCC, existen señalamientos puntuales respecto al caso mexicano y que por sí mismo implica áreas de investigación para la comunidad científica. Dichas temáticas son:

- El clima de América del Norte ha cambiado y algunos cambios socialmente relevantes se han atribuido a causas antropogénicas (confianza muy alta). Los cambios climáticos recientes y eventos extremos individuales demuestran tanto los impactos de las tensiones y vulnerabilidades de los sistemas expuestos relacionados con el clima (confianza muy alta).
- Muchas presiones sobre el clima que llevan riesgo particularmente aquellos relacionados con el calor intenso, fuertes precipitaciones, y la disminución de la capa de nieve aumentarán su frecuencia y/o severidad en América del Norte en las próximas décadas (confianza muy alta).
- Los recursos hídricos ya están estresados en muchas partes de América del Norte, como consecuencia de causas no relacionadas con el cambio climático antropogénico, y se espera que se estresen aún más debido al cambio climático (confianza alta).
- Se han observado efectos de la modificación de la temperatura y la variabilidad climática en los rendimientos de los principales cultivos (confianza alta). Proyecciones de aumentos en la temperatura, las reducciones en las precipitaciones en algunas regiones, y una mayor frecuencia de eventos extremos se traduciría en la disminución de la productividad neta de los principales cultivos en Norteamérica a finales del siglo XXI sin adaptación, aunque la tasa de disminución varía según el modelo y escenario, y en algunas regiones, especialmente en el norte, se pueden beneficiar (confianza muy alta).
- Se han observado efectos sobre la salud humana a causa de los fenómenos climáticos extremos, aunque las tendencias

relativas al cambio climático y la atribución no se han confirmado hasta la fecha.

- Los impactos observados en los medios de vida, las actividades económicas, la infraestructura y el acceso a los servicios en los asentamientos urbanos y rurales de América del Norte se han atribuido al aumento del nivel del mar, cambios en la temperatura y las precipitaciones, y las ocurrencias de eventos extremos como olas de calor, sequías y tormentas (confianza alta).
- Gran parte de la infraestructura de América del Norte es actualmente vulnerable a los eventos climáticos extremos y, si no se hacen inversiones para fortalecerlos, serán aún más vulnerables al cambio climático (confianza media).
- La mayoría de los sectores de la economía de América del Norte se han visto afectados por y han respondido a las condiciones meteorológicas extremas, incluyendo huracanes, inundaciones y lluvias intensas (confianza alta). (IPCC, 2014a, pp. 1443-1445).

Para poder hacer este tipo de investigaciones se requiere mantener la base de científicos que ya están haciendo cambio climático, pero es fundamental que el volumen de científicos dedicados a esta tarea se incremente. Este grupo de investigadores especializados en las ciencias atmosféricas pueden ponerse como meta de trabajo darle un fuerte impulso a la investigación de la atmósfera y sus interacciones e incluso crear un modelo propio de clima futuro.

Se requieren fomentar la participación de los científicos sociales para que ellos ayuden a analizar las condiciones sociales actuales de los mexicanos y entender cómo interactúan los actores sociales, de manera individual y colectiva, ante las manifestaciones propias de la variabilidad climática natural y del cambio climático porque ello no puede hacerse a través de los modelos de clima.

En el contexto de cambio climático, y debido a los impactos adversos probables se hace necesario que las comunidades científicas de México aprendan a trabajar de manera multidisciplinaria, pero dejando

atrás los esquemas de participación en los que se divide el trabajo y solamente al final se reúnen para integrar una versión final de un reporte de investigación. En ese entendido, es necesario crear mecanismos de comunicación e interacción entre los investigadores que tengan como lenguaje y proceso de codificación el tema de cambio climático.

El cambio climático debe comenzar a verse como una ciencia de amalgama, en la que diversas disciplinas científicas puedan plantear los posibles escenarios en los cuales se habrán de generar sus procesos de desarrollo social y crecimiento económico.

Si por su ubicación geográfica y su diversidad biológica México ha sido catalogado como un país vulnerable a los impactos del cambio climático (Gay et al., 1995; Gay et al. 1996; Gay, 2000) entonces la ciencia del clima y los científicos dedicados a este tema deben comenzar a jugar un papel más importante para poder crear las opciones de política pública que ayuden a que el país sea sustentable, a pesar de los escenarios adversos del clima. En ese entendido el estudio del cambio climático debe ser visto como un elemento estratégico para el desarrollo futuro de México.

Los impactos asociados al cambio climático, se esperan en el sector agrícola, hídrico, costero, más tormentas y un clima severo, ecosistemas y biodiversidad, así como afectaciones a infraestructura estratégica por lo cual es necesario reducir la vulnerabilidad de la población y sectores productivos e incrementar su resiliencia y la resistencia de la infraestructura estratégica”, así como conservar, restaurar y manejar sustentablemente los ecosistemas garantizando sus servicios ambientales para la adaptación y mitigación al cambio climático, es decir, la agenda de investigación del tema tiene garantizado un largo tramo de existencia

En este mismo ámbito de lo académico han sido realizadas nuevas evaluaciones sobre impactos en la biodiversidad (Trejo *et al.*, 2011; Gómez Díaz, J.D. *et al.*, 2011) estrés térmico en poblaciones humanas (Tejeda-Martínez. A. *et al.*, 2011) productividad agrícola (Monterroso Rivas A.I. *et al.*, 2011) pesquerías (Martínez Arroyo, A. *et al.*, 2011) estudios de confort de acuerdo a índices de temperatura-humedad

(Hernández A. *et al.*, 2011) y los recursos hídricos (Sánchez-Torres Esqueda, G. *et al.*, 2011).

Algunas áreas de interés para la investigación pueden sustraerse de la *Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40* ya que dicho documento considera que el cambio climático representa una gran oportunidad para conservar y usar sustentablemente el capital natural, aprovechar el amplio potencial para desarrollar energías limpias, corregir ineficiencias en el uso de la energía, generar empleos con una economía verde, promover el desarrollo territorial sustentable, incrementar la competitividad, y mejorar la salud pública y la calidad de vida de la población (SEMARNAT, 2013, p. 9).

En este mismo diagnóstico se hace un llamado al análisis del cambio climático con reducción de escala al ámbito municipal; el Gobierno de México, en el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018, identifica 1,385 municipios vulnerables a distintos eventos climáticos: inundaciones, deslaves, sequías agrícolas, disminución de rendimiento por precipitación y temperatura, ondas de calor y transmisión de enfermedades (Gobierno de la República, 2014) en este caso, no sólo se trata de temas de carácter climático, sino de cómo combatir la pobreza; porque desde la lógica gubernamental la pobreza es el factor principal de la vulnerabilidad social asociada a los impactos del cambio de clima futuro.

## CONCLUSIONES

Para muchos el cambio climático es un tema de moda, desde el ámbito de la investigación es un tema fascinante porque permite la posibilidad de incursionar en áreas que se encuentran en las fronteras del conocimiento. Sin embargo, el cambio climático, como hecho científicamente probado, es mucho más que solamente eso; ya que se trata del futuro de la humanidad y de en qué condiciones habrán de vivir las comunidades sociales y políticas de todo el planeta.

En el caso mexicano, se requiere impulsar la investigación del cambio climático (tanto de manera monodisciplinaria como multi e interdisciplinaria) para que de los resultados de estas investigaciones se gesten alternativas de acciones a implementar en el corto y mediano plazo tanto en el ámbito de la mitigación como de la adaptación social al problema.

La ciencia climática de México tiene que verse como una inversión para el futuro del país. Para ello se requiere que se diversifiquen los fondos de financiamiento y que se rompan los paradigmas que han separado a las comunidades científicas; es decir, pensar en la adaptación social de nuestro país ante el reto que implica el cambio climático, puede comenzar por hacer innovaciones tan simples como las antes mencionada. El futuro de México requiere la formación de expertos en clima, pero también de una inversión enfocada en la investigación para que en el menor tiempo posible se puedan generar opciones plausibles para implementarse en todo el país. Invertir en la ciencia climática es invertir en el futuro de México.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arrhenius**, Svante. (1901). “Über die Wärmeabsorption Durch Kohlensäure und Ihren Einfluss auf die Temperatur der Erdoberfläche.” *Förhandlingar Svenska Vetenskapsakademins* 58: 25-58.
- Arrhenius**, Svante. (1908). *Worlds in the Making*. New York: Harper & Brothers.
- Burkett**, V.R., Suarez, A.G., Bindi, M., et al. (2014a). Point of departure. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 169-194) [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Callendar**, G.S. (1938). “The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Climate.” *Quarterly J. Royal Meteorological Society* 64: 223-40.
- CEPAL. (2015). *Financiamiento para el desarrollo en América Latina. Un análisis estratégico desde la perspectiva de los países de renta media* (p. 58) Santiago de Chile, CEPAL.
- Clapp** C., J. Ellis, J. Benn, and J. Corfee-Morlot. (2012). *Tracking Climate Finance: What and How?* OECD/IEA Publishing, Paris, France. Disponible en <http://www.oecd.org/env/climatechange/50293494.pdf>
- CMNUCC. (2007). *Investment and financial flows to address to climate change*, (p. 272) UNFCCC, Bonn, Alemania.
- CMNUCC. (2014). *2014 Biennial Assessment and Overview of Climate finance flows Report*, UNFCCC Standing Committee on Finance. (p. 92) UNFCCC, Bonn, Alemania.

- Conde Álvarez, C., F. Estrada, B. Martínez, O. Sánchez and C. Gay García.** (2010). *Regional climate change scenarios for Mexico*, ATMOSFERA, 24 (1)
- Conde, Cecilia.** (2010). *El cambio climático. De lo inequívoco a lo incierto* en Delgado, G. et al. (Coord.) *México frente al cambio climático. Retos y oportunidades*. México: UNAM, Centro de Ciencias de la Atmósfera/ Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades/ Programa de Investigación en Cambio Climático/ Programa Universitario de Medio Ambiente.
- Crutzen, P. J. & E. F. Stoermer.** (2000). The “Anthropocene” Global Change Newsletter 41, The Royal Swedish Academy of Sciences Stockholm, Sweden, (pp. 14-17) Disponible en <http://www.igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/NL41.pdf>
- Di Donato, Monica.** (2009). *Impacto del Cambio Global en el Antropoceno: crisis, consecuencias y adaptación*, CIP-Ecosocial Boletín ECOS nº 5 (noviembre 2008-enero 2009), Madrid, España: 10
- Duarte Quesada, Carlos M. (Coord.)** (2006). *Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*, (p. 163) Consejo Superior De Investigaciones Científicas, Colección Divulgación, Madrid, España.
- Fernández Durán, Jorge.** (2011). *El Antropoceno. La crisis ecológica se hace mundial. La expansión del capitalismo global choca con la biosfera* (p. 105). Barcelona, España: Virus Editorial
- Garduño, René.** (2004). ¿Qué es el efecto invernadero? en Martínez Julia y Adrián Fernández, *Cambio climático: una visión desde México*. México: Instituto Nacional de Ecología.
- Gay, Carlos (Comp.)** (2000). *México: Una visión hacia el siglo XXI*. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program, México Instituto Nacional de Ecología/ Universidad Nacional Autónoma de México/ U.S. Country Studies Program.

- Gay, Carlos et al. (eds.) (1995).** *Primer Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático.* Memorias, Cuernavaca, Mor. 18 al 22 de abril de 1994, México; Instituto Nacional de Ecología, US Country Studies Program. Support for Climate Change Studies, Coordinación de la Investigación Científica, Centro de Ciencias de la Atmósfera.
- Gay, Carlos et al. (eds.) (1996).** *Segundo Taller de Estudio de País: México. México ante el cambio climático.* Memorias, Cuernavaca, Mor. 8 al 11 de mayo de 1995, México; Instituto Nacional de Ecología, US Country Studies Program. Support for Climate Change Studies, UNAM.
- Gobierno de la República. (2014). *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC): Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018.* Diario Oficial de la Federación. Disponible en: <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2014/09/PECC-2014-2018.pdf>
- Gómez Díaz, J. D., Monterroso Rivas, A. I., Tinoco Rueda, J. A., et al. (2011).** Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24(1), 31-52
- González, José A. y Carlos Montes. (2010).** *Cooperación para el desarrollo en tiempos de cambio global: cuando seguir haciendo lo mismo ya no es una opción en cuatro grandes retos. Una solución global,* Fundación IPADE, Madrid, España, 8-25;
- Hernández, A., Domínguez, B., Cervantes, P., et al. (2011).** Temperature-humidity index (THI) 1917-2008 and future scenarios of livestock comfort in Veracruz, México. *Atmósfera* 24 (1), 89-102
- IISD. (2009). "A summary report of the World Climate Conference 3 (WCC-3), en *Earth Negotiations Bulletin* 165 (1). Disponible en <http://iisd.ca/yimb/climate/wcc3>
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007. Informe de síntesis, contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación de Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [equipo de redacción principal R.K. Pa-

- chauri y A. Reisinger (directores de la publicación) ] Ginebra, Suiza, IPCC
- IPCC. (2014). *Climate change 2014, Synthesis Report*. Summary for Policymakers, IPCC, Ginebra, Disponible en [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf)
- Irwin**, Ruth. (2011). *Bienvenidos al antropoceno* (pp. 34-35) El correo de la UNESCO, UNESCO, París,
- Lozano**, Socorro. (2004). *Evidencias de cambio climático: cambios en el paisaje en Martínez Julia y Adrián Fernández, Cambio climático: una visión desde México*, México, Instituto Nacional de Ecología
- Martínez** Arroyo, A., Manzanilla Naim, S. y Zavala Hidalgo, J. (2011). Vulnerability to climate change of marine and coastal fisheries in México, *Atmósfera* 24(1), 103-123
- Monterroso** Rivas, A. I., Conde Álvarez, C. Rosales Dorantes, G., et al. (2011). Assessing current and potential rainfed maize suitability under climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24 (1), 53-67
- Nakooda** S., T. Fransen, T. Kuramochi, A. Caravani, A. Prizzon, N. Shimizu, H. Tilley, A. Halimanjaya, and B. Welham. (2013). *Mobilising International Climate Finance: Lessons from the Fast-Start Finance Perios*. ODI, WRI, IGES. Disponible en [http://www.wri.org/sites/default/files/mobilising\\_international\\_climate\\_finance.pdf](http://www.wri.org/sites/default/files/mobilising_international_climate_finance.pdf)
- OMM. (2015). *Declaración de la OMM sobre el estado mundial del clima en 2014*, OMM-N°1152, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, 19
- PNUMA. (2011). *Hacia una economía verde: Guía para el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza*. (p. 704) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.
- Revelle**, Roger and Hans E. Suess. (1957). "Carbon Dioxide Exchange between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO<sub>2</sub> During the Past Decades." *Tellus* 9: 18-27.

- Sanchez-Torres** Esqueda, G., Ospina-Noreña, J. E., Gay, C. *et al.* (2011). Vulnerability of water resources to climate change scenarios. Impacts on the irrigation districts in the Guayalejo-Tamesí river basin, Tamaulipas, México. *Atmósfera* 24(1), 141-155
- Schwägerl**, Christian. (2011). *La era del hombre: ¿destruir o replantar? La época decisiva de nuestro planeta*, Fundación Friedrich Ebert, Quito, Ecuador.
- SEMARNAT**. (2013). *Estrategia Nacional de Cambio Climático visión 10-20-40*, México, SEMARNAT
- Smallridge** D., B. Buchner, C. Trabacchi, M. Netto, J.J. Gomes Lorenzo, y L. Serra. (2012). *The Role of National Development Banks in Intermediating International Climate Finance to Scale Up Private Sector Investments*. IDB, Washington, DC, USA. Disponible en <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=37292040>
- Stern**, Nicholas. (2007). *The economics of climate change: The Stern Review*, Cambridge University Press, UK, 692p.
- Syvistki**, James. (2012). Anthropocene: an epoch of our making, Global change. International Geosphere-Biosphere Programme 78, March 2012, The Royal Swedish Academy of Sciences Stockholm, Sweden 12-15.
- Tejeda-Martínez**, A., Luyando, E. and Jáuregui, E. (2011). *Average conditions of thermal stress in Mexican cities with more than one million inhabitants in the face of climatic change*, *Atmósfera* 24(1), 15-30 (2011)
- Trejo** I., Martínez-Meyer, E., Calixto-Pérez, E., et al. (2011). Analysis of the effects of climate change on plant communities and mammals in México, *Atmósfera* 24(1), 1-14
- Vilches**, Amparo y Daniel Gil. (2009). Una situación de emergencia planetaria a la que debemos y «podemos» hacer frente, *Revista de Educación, número extraordinario 2009*. Ministerio de Educación, Secretaría de Estado de Educación y Formación Profesional, Secretaría General Técnica Subdirección General de Información y Publicaciones, Madrid, España. 101-122