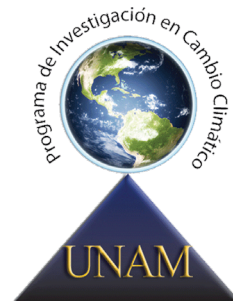


¿Aún estamos a tiempo para el 1.5°C?

Voces y Visiones sobre el Reporte Especial del IPCC

José Clemente Rueda Abad

Editor



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO
MÉXICO, 2019

¿Aún estamos a tiempo para el 1.5°C?

Voces y Visiones sobre el Reporte Especial del IPCC

ISBN DE LA OBRA: 978-607-30-2099-2

**Universidad Nacional Autónoma De México
Programa de Investigación en Cambio Climático**

Editor:

José Clemente Rueda Abad

Portada, formación y diseño editorial:

Uziel Soriano Flores

D.R. © 2019 Programa de Investigación en Cambio Climático de la Universidad Nacional Autónoma de México
Primera Edición

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta libro pueden ser reproducidos o transmitida de cualquier forma o por cualquier medio, electrónico o mecánico, incluye el fotocopiado, la grabación o cualquier sistema de almacenamiento y recuperación de información, sin la autorización por escrito del editor

Publicación realizada en formato digital para ser distribuida en el sitio de internet
www.pincc.unam.mx

Formato electrónico: PDF

Capítulo 13

Limitando el calentamiento global a 1.5°C y sus beneficios en la disponibilidad del agua: la necesidad de una reflexión a nivel local

Fabiola S. Sosa-Rodríguez

RESUMEN

El cambio climático es uno de los retos más grande que enfrenta la humanidad, cuyos impactos serán no sólo catastróficos sino irreversibles de no limitar el calentamiento global a menos de 2°C, siendo deseable lograr el objetivo de evitar un incremento en la temperatura promedio global que supere los 1.5°C. Para lo cual será indispensable incrementar la ambición de los países tanto en materia de mitigación como de adaptación. Sin embargo, los impactos del cambio climático y las estrategias que se realicen para promover la mitigación y fortalecer las capacidades de adaptación requieren tener en cuenta el contexto local en aras de que éstas sean exitosas. En este sentido, este capítulo reflexiona en un primer momento sobre la situación actual del cambio climático en el mundo, identificando a los principales generadores de GEI y las tendencias actuales en materia de mitigación. En segundo lugar, analiza las contribuciones que tendría limitar el calentamiento global a 1.5°C para reducir la vulnerabilidad de los ecosistemas, de la población y las actividades económicas, así como de las ciudades. Asimismo, se discuten las implicaciones de los esfuerzos que se tendrían que realizar por los países para alcanzar este objetivo. Finalmente, se evalúa como limitar el calentamiento global a 1.5°C reduce los niveles de vulnerabilidad a nivel local, en particular al reducir los impactos esperados de este fenómeno en la disponibilidad del agua para los diferentes usuarios, utilizando como caso de estudio la Cuenca del Valle de México, la cual es la región identificada como la más vulnerable a los impactos del cambio climático en México, debido a las condiciones actuales de concentración demográfica y urbana, de las actividades económicas y de la acelerada pérdida de los servicios ecosistémicos resultado de los cambios de uso de suelo y de la deforestación.

Palabras clave: limitar el calentamiento global a 1.5°C; impactos del cambio climático; Cuenca del Valle de México; agua; escenarios de disponibilidad del agua.

ABSTRACT

Climate change is one of the greatest challenges that humanity faces, whose impacts will be not only catastrophic but also irreversible if global warming is not limited to less than 2°C, therefore it is desirable to achieve the objective of limiting global warming to

1.5°C. To this end, it is vital to increase the level of ambition of all countries worldwide for both mitigation and adaptation. However, the impacts of climate change and the strategies carried out to promote mitigation and strengthen adaptation capacities require taking into account the local context in order to be successful. The chapter discusses the current situation of climate change, identifying the main GHG generators and the current trends in mitigation. Secondly, it analyzes the benefits of limiting global warming to 1.5 °C in terms of the reduction of vulnerability of ecosystems, the population and their economic activities, and cities. Likewise, the implications of the efforts that would have to be carried out by countries to achieve this objective are examined. Finally, it is evaluated how limiting global warming to 1.5 °C reduces the levels of vulnerability at locally, in particular, by reducing the expected impacts of climate change on the availability of water, using as a case study the Basin of Mexico. This region has been identified as the most vulnerable to this phenomenon in Mexico, due to the current conditions of demographic, urban and economic activities concentration, and the accelerated loss of ecosystem services resulting from land-use changes and deforestation.

Keywords: limiting global warming to 1.5°C, climate change impacts, Basin of Mexico, availability of water´s scenarios.

INTRODUCCIÓN

Uno de los principales desafíos que enfrenta la humanidad es el cambio climático (CC). Este fenómeno está relacionado con el calentamiento del planeta por la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero (GEI) (i.e., dióxido y óxido de carbono (CO₂ y CO), metano (CH₄), óxido nitroso (NO), y carbono negro), por la quema de combustibles fósiles en las actividades humanas, los cambios en el uso de suelo y la deforestación.

La elevada concentración de GEI ha modificado el clima, y con ello, los principales parámetros climáticos (i.e., temperatura, precipitación, viento, humedad). De continuar con una economía mundial cuyo crecimiento económico depende de la quema de combustibles fósiles, se proyecta que la temperatura media del planeta podría incrementarse entre 3.2 y 5.4°C, con respecto a los niveles preindustriales. A pesar de los esfuerzos de las Contribuciones Nacionalmente Determinadas de los países (NDC, por sus siglas en inglés), la humanidad no logrará limitar el calentamiento global en un nivel que no ponga en riesgo su supervivencia y la de los ecosistemas, proyectándose un incremento en la temperatura media global de hasta 3.7°C.

Desafortunadamente, aunque el crecimiento económico se desacople de la generación de GEI, existe un efecto tendencial que estima un incremento en la temperatura media del mundo entre 0.9 y 2.3°C (UNFCCC, 2016). Por consiguiente, a pesar de lograr que los GEI en la atmósfera se estabilicen, la humanidad enfrentará impactos del CC que serán inevitables, por lo que los esfuerzos en materia de mitigación deben complementarse con estrategias concretas para fortalecer las capacidades de adaptación. Lo anterior, debido a que ciertas regiones, en particular los trópicos y subtropicos, se verán severamente afectadas.

En este sentido, es fundamental lograr acuerdos internacionales vinculantes que

comprometan a países (desarrollados y en vías de desarrollo) a reducir la generación de GEI, además de crear los mecanismos de financiamiento que apoyen la creación de capacidades para enfrentar al CC para los países más vulnerables.

Por lo pronto, los NDC de las naciones no representan los escenarios más eficientes en términos de costos, debido a que se espera que, en el 2030, los países destinen una parte importante de su Producto Interno Bruto (PIB) para financiar sus estrategias de mitigación y adaptación. Lo anterior, pone en evidencia la urgente necesidad de que los países incrementen sus niveles de ambición en aras de reducir los impactos esperados de este fenómeno.

En este capítulo se aborda en un primer momento la situación actual del CC en el mundo, identificando a los principales generadores de GEI y las tendencias actuales en materia de mitigación. En segundo lugar, se analizan las contribuciones que limitar el calentamiento global a 1.5°C pudiera tener en materia de reducir la pérdida de biodiversidad, limitar el aumento en el nivel del mar y disminuir los riesgos de su acidificación, moderar la ocurrencia de eventos climáticos extremos, y reducir los riesgos a la salud y materia de seguridad alimentaria. Asimismo, se reflexiona sobre los esfuerzos en materia de mitigación que alcanzar este objetivo implicaría para los países del mundo. Finalmente, se evalúa como limitar el calentamiento global a 1.5°C reduce los niveles de vulnerabilidad a nivel local, en particular al reducir los impactos esperados de este fenómeno en la disponibilidad del agua para los diferentes usuarios.

CAMBIO CLIMÁTICO: SU CONTEXTO GLOBAL

En la COP24 realizada en Katowice, Polonia, los esfuerzos estuvieron concentrados en definir las Reglas (Rule Book) que se seguirán para la implementación del Acuerdo de París, el cual entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, y pretende evitar un aumento en la temperatura media global de 2°C, logrando un equilibrio entre fuentes y sumideros de GEI para el 2050. Este acuerdo no fue vinculante, sino que se basa en la tesis de que las Partes cumplirán sus NDC no condicionadas de manera voluntaria, y en la medida que se logre favorecer el financiamiento, también se cumplirían las NDC condicionadas. El Acuerdo de París remplazará al Protocolo de Kyoto en el 2020, revisándose los avances en materia de mitigación y adaptación cada 5 años. Al entrar en vigor, los países que lo ratificaron tendrán que esperar un mínimo de tres años para poder salirse del Acuerdo.

Uno de los avances más relevantes en el Acuerdo de París fue el reconocimiento de que los impactos del CC pueden obstaculizar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), también conocida como la Agenda 2030. Por ello, la relevancia de poner en el centro de las discusiones internacionales el combate del CC como un elemento clave para garantizar el desarrollo sustentable.

Sin embargo, limitar el calentamiento global a 2°C se considera que pone en un alto riesgo a diversos sectores económicos y regiones del mundo, en particular a varias islas del Pacífico (i.e., las Islas Salomón en Papúa Nueva Guinea; las Maldivias en Asia; Cabo Verde en África; y Palaú, Fiji, Micronesia y Tegua en Oceanía), las cuales actualmente ya enfrentan las consecuencias del CC, al estar parte de su territorio

bajo el mar (i.e., Kiribati). Resultado de esta discusión, le fue encargado al Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), que evaluará las diferencias en términos de riesgos e impactos comparando los escenarios de un incremento en la temperatura media global de 1.5°C con respecto a 2°C.

Los resultados de esta evaluación se detallan en el segundo apartado de este capítulo. Sin embargo, es fundamental reflexionar sobre la situación en que se encuentra el planeta en la actualidad, en aras de poner en evidencia los esfuerzos que se requieren llevar a cabo para lograr cumplir con el objetivo de limitar el calentamiento del planeta a 1.5°C, lo cual reducirá considerablemente los niveles de riesgo y vulnerabilidad que enfrenta tanto la humanidad como los diversos ecosistemas.

GEI a nivel mundial

En 2018, se emitieron alrededor de 37.1 GtonCO₂eq a nivel mundial, por lo que la concentración atmosférica de CO₂ alcanzó la cifra record de 405.5 ppm; cifra que representa un incremento de más de 145% con respecto a los niveles preindustriales. En el caso de la concentración atmosférica de CH₄, también alcanzó una cifra record de 1,850 ppb y los N₂O de 329.9 ppb; estas cifras representan un aumento con respecto a los niveles preindustriales de 257 y 122%, respectivamente. Por consiguiente, desde 1990 hasta el 2017, el forzamiento radiativo de los GEI aumentó en un 41%, siendo las emisiones de CO₂ las que representaron un 82% de este incremento (WMO, 2018).

La mayor generación de CO₂ se atribuye a la quema de combustibles fósiles para la producción de energía, seguido del transporte y la industria. Entre los principales generadores de tanto de CO₂ como de GEI en general destaca China; país que contribuyó con un 29.16% del total de las emisiones. En segundo lugar, se encuentra Estados Unidos con un 15.25%, seguido de India con 6.98% y Rusia con 4.69% (Le Quéré et al., 2018). Cabe destacar que, Estados Unidos fue el país con las mayores emisiones de CO₂ *per cápita*. La Figura 1 detalla los principales emisores de CO₂ en el mundo, en la que México ocupa la posición número 14, al contribuir con un 1.34% de la producción de este contaminante.

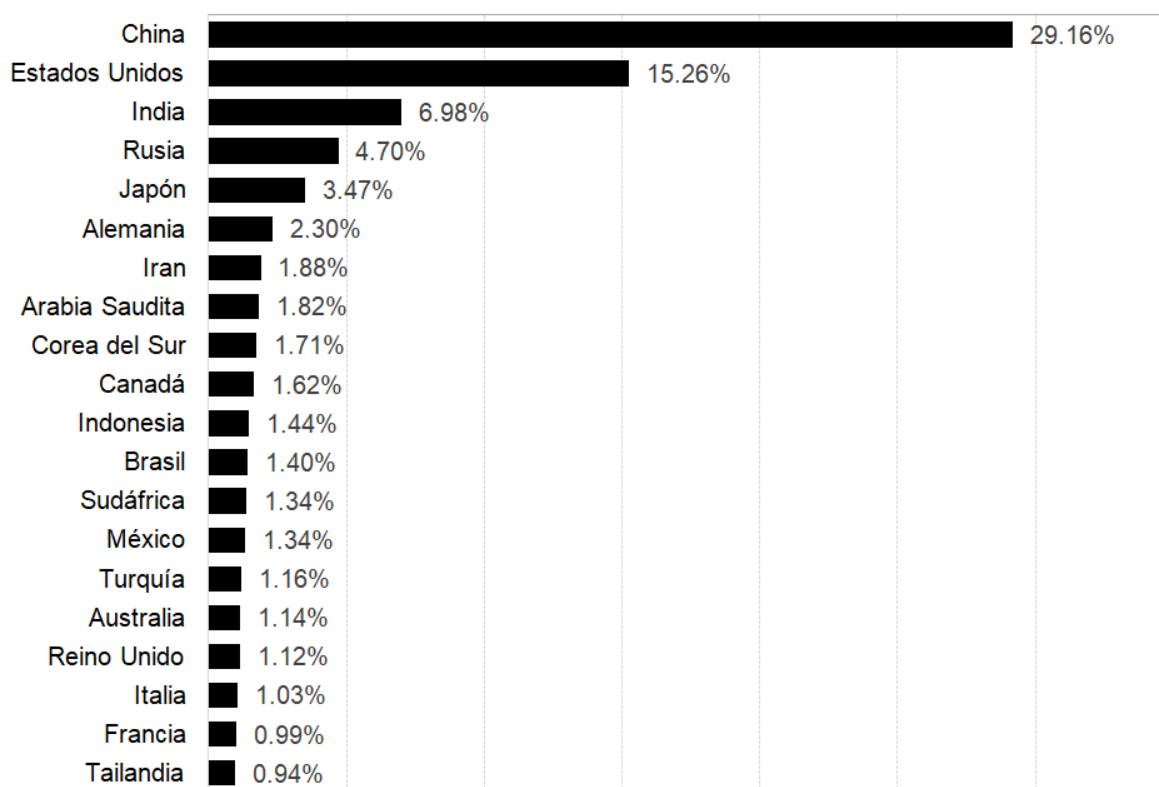
Se espera que las emisiones de CO₂ relacionadas con la producción de energía continúen aumentando, a pesar de los esfuerzos por promover el uso de energías renovables que no están basadas en la quema de combustibles de fósiles (i.e., solar, eólica, geotérmica), además de otras acciones dirigidas a reducir la concentración de GEI en la atmosfera que incluyen la reforestación, la aplicación de impuestos al carbono en las gasolinas y el fortalecimiento de los mercados de carbono.

Lo anterior, a pesar de las claras evidencias de que la temperatura promedio global ha aumentado en las últimas décadas, estimándose que desde 1961-1990 a la fecha este incremento asciende a 0.8°C, y con respecto a los niveles preindustriales, a 1.2°C (Morice et al., 2012). Este aumento evidencia que estamos cerca de alcanzar el límite de 1.5°C de calentamiento global, con el cual los riesgos e impactos del CC serán considerablemente menores.

El aumento en la temperatura media global ha afectado de manera desigual a las

diferentes regiones del mundo, siendo particularmente afectado el Hemisferio Norte con un incremento en la temperatura media en esta región de hasta 1.4°C desde el periodo industrial; en el caso del Hemisferio Sur, este registra un aumento promedio cercano a los 0.8°C en el mismo periodo. Estas diferencias se explican en parte, por los patrones de circulación oceánica, destacando la Oscilación del Atlántico (Delworth et al., 2016).

Figura 1. Participación en la generación de CO₂, 2018



Fuente: Elaborado con base en Le Quéré et al. (2018).

Emisiones por sector y por tipo de combustible

Las emisiones globales de GEI son principalmente generadas por la producción de electricidad y calor (25% del total), seguidas de la agricultura, silvicultura y cambios del uso de suelo (24% del total) y de la industria (21% del total); estos tres sectores generan 70% del total de las emisiones a nivel mundial. La producción de electricidad y calor se basa en la quema de carbón, gas natural y petróleo; mientras que las emisiones de la agricultura, silvicultura y los cambios de uso de suelo están asociados con el cultivo de cereales y vegetales, la cría de ganado y la deforestación. Cabe mencionar,

que la generación de GEI por este sector está subestimado, dado que no se toman en cuenta las emisiones producidas por la materia orgánica muerta y los suelos, y tampoco se considera el secuestro de carbono de la biomasa. En el caso de los GEI producidos por la industria, éstos se atribuyen a la quema de combustibles fósiles; a las emisiones generadas por los procesos de transformación química, metalúrgica y mineral, así como a las emisiones relacionadas con la gestión de residuos (FAO, 2014; IPCC, 2014).

El restante 30% del total de las emisiones a nivel mundial se atribuyen al transporte (14% del total), a otros usos energéticos (10% del total), y a los edificios residenciales y comerciales (6% del total). Las emisiones del sector transporte se explican principalmente por la quema de combustibles fósiles para el transporte por carretera, ferrocarril, aéreo y marítimo (i.e., petróleo, gasolina y diésel). Para las otras energías se consideran las emisiones del sector de energía que no está asociada con la producción de electricidad o calor, como es el caso de la extracción de combustibles y su procesamiento. Finalmente, en el caso de los edificios, las emisiones se relacionan con la generación de calor o los requerimientos de energía para cocinar. Sin embargo, no se consideran las emisiones derivadas del uso de electricidad en los edificios, por lo que las emisiones de este sector también se encuentran subestimadas (FAO, 2014; IPCC, 2014).

En este sentido, en la actualidad sigue predominando el uso de los combustibles fósiles para atender los requerimientos energéticos de las actividades económicas y domésticas, aunque dependiendo de la región del mundo el consumo de algunos combustibles son prioritarios, lo cual depende tanto de la disponibilidad de los combustibles como de las tecnologías con las que cuentan los países para aprovecharlos. Revertir los elevados requerimientos energéticos de los diferentes sectores y las emisiones que éstos generan es crucial para lograr limitar el calentamiento del planeta a 1.5°C, como lo sugiere el IPCC para reducir los impactos del CC. Evidentemente, las tendencias actuales nos están llevando a transgredir uno de los límites del planeta más importantes con impactos a nivel global, cuyas consecuencias no sólo serán catastróficas sino irreversibles si no se logra reducir la concentración de GEI en la atmosfera que eviten un calentamiento global superior a los 2°C.

LIMITAR EL CALENTAMIENTO GLOBAL A 1.5°C: UN ESCENARIO MENOS VULNERABLE

El 8 de octubre de 2018, el IPCC publicó un informe sobre la relevancia de limitar el calentamiento global a 1.5°C, debido a que los impactos del CC serán considerablemente menores que los proyectados para un incremento promedio de 2°C, por arriba de los niveles preindustriales. Para lograr este objetivo, es indispensable realizar cambios rápidos y sin precedentes en todos los sectores, con el fin de promover una mitigación efectiva. Este reporte fue preparado a solicitud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) durante el Acuerdo de París en 2015. Los beneficios de limitar el calentamiento del planeta a 1.5°C y los esfuerzos requeridos en materia de mitigación para alcanzar este fin son abordados en las siguientes secciones.

Beneficios de limitar el calentamiento a 1.5°C

En la actualidad, el mundo enfrenta las consecuencias de un aumento promedio global de la temperatura en 1°C; estas consecuencias incluyen eventos climáticos extremos, un aumento en el nivel del mar, la reducción de los glaciares y del permafrost, la proliferación de vectores, la reducción en el número de polinizadores, y las pérdidas en la biodiversidad, entre otros impactos. La ocurrencia de estos impactos podría reducirse considerablemente si se logra limitar el calentamiento global a 1.5°C. Si la tendencia en la generación de GEI continúa aumentando al ritmo actual, es probable que la temperatura promedio global ascienda a 1.5°C entre 2030 y 2052, y que para el 2100, incluso se supere los 2°C, con impactos no solo catastróficos sino irreversibles. Lo anterior, debido a que actualmente el calentamiento global se ha estimado en 0.2°C por década (IPCC, 2018).

Más de dos tercios de los modelos climáticos validados por el IPCC proyectan que existen diferencias significativas en los impactos que enfrentarán las diversas regiones del mundo entre un calentamiento global de 1.5°C y de 2°C. Estas diferencias incluyen incrementos en la temperatura media en la mayoría de las regiones terrestres y oceánicas, olas de calor, aumentos en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, así como un incremento en la intensidad y frecuencia de sequías e inundaciones en diversas regiones. Por ejemplo, los días de calor extremo en latitudes medias podrían enfrentar un aumento de hasta 3°C si el calentamiento global se limita a 1.5°C; pero si se limita a 2°C, este aumento podría ser de hasta 4°C. En el caso de las noches extremadamente frías, en latitudes altas, se espera que la temperatura media global aumente en hasta 4.5°C con 1.5°C de aumento de a nivel global, y en hasta 6°C si el calentamiento se limita a 2°C (IPCC, 2018).

Para el caso de los riesgos de sequías y precipitaciones extremas, se espera que estos eventos se incrementen en diversas regiones del mundo bajo un contexto de un aumento de la temperatura de 2°C, en comparación con uno de 1.5°C. De igual forma, que la ocurrencia e intensidad de ciclones tropicales e inundaciones sea más alto con 2°C de calentamiento global en contraste con 1.5°C (IPCC, 2018).

Para el 2100, el aumento del nivel del mar en el mundo se espera sea 10 cm más bajo si se limita el calentamiento a 1.5°C; esta reducción en el aumento del nivel del mar permitirá reducir en 10 millones el número de personas que están expuestos a los riesgos asociados a dicho aumento. Sin embargo, la pérdida irreversible de los casquetes polares podría causar un incremento de varios metros en el nivel del mar por varios cientos de miles de años, esta pérdida acelerada se potenciará entre los 1.5 y 2 °C de incremento en la temperatura media global. Se proyecta que limitar el calentamiento global a 1.5°C, permitirá prevenir la descongelación de un área de permafrost de entre 1.5 y 2.5 millones de km² (IPCC, 2018).

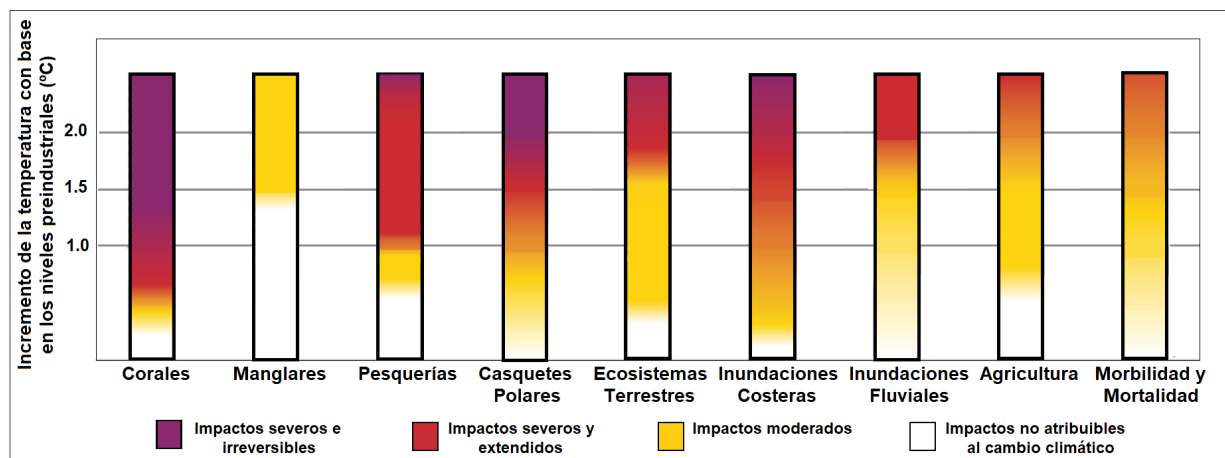
Otro de los impactos esperados por el aumento en el nivel del mar es el riesgo de intrusión de agua salada en los acuíferos cercanos a las costas, además de la ocurrencia de inundaciones y los daños en la infraestructura. En el caso de los arrecifes de coral, éstos disminuirán entre un 70 y 90% con un calentamiento global de 1.5°C, aunque con un calentamiento de 2°C prácticamente todos los arrecifes de coral se perderían (IPCC, 2018). Limitar el calentamiento global a 1.5°C favorece también la reducción en

el aumento de la temperatura media del océano y su acidez, y con ello, la disminución en los riesgos de la pérdida de la biodiversidad marina y de los ecosistemas marinos y costeros. Se proyecta que los impactos del CC repercutirán en la pesca y en la acuicultura al afectar la fisiología, el hábitat, la reproducción de las especies y los riesgos de especies invasoras; las pérdidas para las pesquerías se esperan sean de 1.5 millones de toneladas con un calentamiento de 1.5°C, en comparación con pérdidas de más de 3 millones de toneladas para un aumento de la temperatura media global de 2°C. Por otro lado, limitar el aumento de la temperatura a 1.5°C reducirá el riesgo de pérdida de especies terrestres en un 50%, con ello, se reducirá la pérdida de insectos en 12%, de las plantas en 8% y de los vertebrados en 4%, además de disminuir los riesgos asociados a la ocurrencia de incendios forestales y a la proliferación de especies invasoras (IPCC, 2018).

Los riesgos a la salud, la seguridad alimentaria, el suministro de agua, la seguridad humana y el crecimiento económico, serán menores con un calentamiento global de 1.5°C en comparación con uno de 2°C. En particular, son más vulnerables a los impactos del CC las poblaciones desfavorecidas y las comunidades locales que dependen de las actividades primarias para su supervivencia; por lo que a medida que se incrementa la temperatura media global, pasando de un calentamiento de 1.5 a 2°C, el número de personas expuestas a los riesgos relacionados con el clima aumentará en varios cientos de millones. Por ejemplo, será menor la morbilidad y mortalidad relacionadas con las olas de calor y la contaminación del aire, así como la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores (i.e., malaria). Con respecto a la seguridad alimentaria, se estima que las afectaciones en la producción de cereales (i.e., maíz, arroz y trigo), así como en la cría de ganado será menor si se limita el calentamiento a 1.5°C, siendo particularmente afectados el África Subsahariana, el Sureste asiático, y América Central y del Sur. Estos impactos en particular, están relacionados con la disponibilidad del agua que se destina a la agricultura y ganadería. En el caso de la población mundial expuesta a un mayor estrés hídrico debido al CC, ésta se reduce en hasta un 50% si se limita el calentamiento global a 1.5°C (IPCC, 2018).

En este sentido, limitar el calentamiento mejora las posibilidades de adaptación, lo cual contribuirá al combate de la pobreza y a alcanzar los ODS. Asimismo, un aumento más lento del nivel del mar facilitará el fortalecimiento de las capacidades de adaptación de las islas y las zonas costeras, mejorando la gestión de los ecosistemas costeros y reforzando las infraestructuras. En general, los impactos del CC para el crecimiento económico serán considerablemente menores con un incremento de 1.5°C que con uno de 2°C, no sólo por las repercusiones esperadas en los diferentes sectores productivos, sino también por los costos en los que tendrán que incurrir los países para potenciar la mitigación y la adaptación. En particular, los países en los trópicos y subtropicos serán los más afectados por el CC.

La Figura 2 pone en evidencia las reducciones en los impactos que pudiera tener en sistemas únicos y aquellos amenazados por el CC de lograr limitar el calentamiento global a 1.5°C; entre estos impactos destacan una menor afectación de los corales, una reducción en las tasas de pérdida de los casquetes polares, una menor presión en la pérdida de los ecosistemas terrestres y costeros, una menor ocurrencia de inundaciones fluviales y costeras, menores pérdidas y presiones en la agricultura, y una reducción en la incidencia de la morbilidad y mortalidad por eventos climáticos.

Figura 2. Impactos con un calentamiento de 1.5°C en comparación con 2°C

Fuente: Elaborado con base en IPCC (2018).

Como respuesta a estos impactos, diversas acciones a nivel mundial se están realizando para reducir las emisiones de GEI. Sin embargo, estas acciones tienen que potenciarse para desacoplar el crecimiento económico de la quema de combustibles fósiles, favoreciendo que los países del mundo sean emisores netos cero de GEI. Para ello, es necesario que las emisiones de GEI registradas en el 2010 se reduzcan en un 45% para el 2030, logrando estabilizar la concentración de las mismas para el año 2050. Alcanzar este objetivo requerirá no sólo de mejores tecnologías para el secuestro del CO₂, sino también la realización de diversas estrategias por diferentes sectores (i.e., agrícola, industrial, energético, transporte) para reducir la generación de GEI. Lo anterior, debido a que no se puede confiar la supervivencia de la humanidad a la efectividad del uso de la tecnología, la cual, si bien ha probado tener resultados favorables, no es suficiente para lograr limitar el calentamiento del planeta a 1.5°C para el 2100 (IPCC, 2018).

Mitigación de los GEI: esfuerzos para lograr una transición energética

Para limitar el calentamiento global a 1.5°C, se estima que se requieren reducir las emisiones globales netas de CO₂ en un 45% con respecto a los niveles de 2010 para el 2030; además de ser necesario que los países sean emisores netos cero para el 2050 (IPCC, 2018). Evidentemente, lograr esta reducción en la generación de GEI exige que se realicen importantes esfuerzos que van más allá de mejorar la eficiencia energética, dado que se requiere una transición energética de fondo que permita desacoplar el crecimiento económico de la quema de combustibles fósiles. A pesar de ello, sigue pendiente responder la pregunta de cómo lograremos en un periodo tan corto de tiempo dejar de depender de los combustibles fósiles. En la COP24 realizada en Katowice, Polonia, se discutieron los pobres resultados que los mercados de carbono habían logrado durante su periodo de implementación, poniéndose en la mesa de

discusión el uso de la energía nuclear para lograr esta transición. La decisión de qué tecnologías promover está lejos de alcanzar un acuerdo, aunque se están reflexionando las ventajas y desventajas del uso de diferentes alternativas energéticas.

Por otro lado, limitar el calentamiento del planeta a 2°C requerirá menores esfuerzos en materia de mitigación, dado que para cumplir este objetivo es necesario, el reducir las emisiones de CO₂ en un 25% para el 2010, permitiendo en un mayor horizonte de tiempo alcanzar las emisiones netas cero en el mundo hasta el 2070. A pesar de ello, si contrastamos los costos de no limitar el calentamiento del planeta a 1.5°C con respecto a los gastos que tendrán que realizar los diferentes sectores para reducir los impactos del CC, los beneficios netos totales ponen en evidencia la urgencia de limitar el calentamiento del planeta, dado que esta opción es la más eficiente. Para ello, se requiere limitar las emisiones de CH₄ y de carbono negro en más de 35% para el 2050 (con respecto a sus niveles en el 2010), además de reducir las emisiones de aerosoles en los procesos de enfriamiento de las industrias. Asimismo, es necesario limitar la producción de CH₄ y N₂O provenientes del sector agrícola, pecuario y de la gestión de residuos. Estas reducciones en las emisiones contribuirán de manera relevante a mejorar la calidad del aire, favoreciendo a mejoras en la salud.

Para alcanzar esta meta, la generación de GEI se tendría que limitar entre 420 y 580 GtCO₂, dado que, hasta el momento, desde el periodo preindustrial, se ha incrementado la concentración de GEI en la atmosfera en 2200±320 GtCO₂. Cabe mencionar, que la concentración remanente de GEI que permitiría limitar el calentamiento del planeta en 1.5°C podría estar subestimada en hasta 100 GtCO₂, dado que no se considera la liberación adicional de CO₂ por la futura descongelación de los casquetes polares y del permafrost (IPCC, 2018). Adicionalmente, esta estimación del presupuesto remanente de carbono no toma en cuenta la influencia del forzamiento radiativo para la generación de CO₂. Por consiguiente, las estrategias de mitigación no sólo están dirigidas al remplazo de los combustibles fósiles, sino a una profunda reducción de los GEI por parte de otros sectores además del energético, del sector transporte y del industrial, que son los principales generadores de estas emisiones. Entre estas estrategias está el potenciar el secuestro de carbono, evitar los cambios de uso de suelo y la deforestación, y el promover el uso de fuentes de energía bajas en emisiones. En el caso particular de la generación de electricidad, se considera el uso de combustibles nucleares, los cuales remplacen la quema de combustibles fósiles, en especial el uso del carbón, así como el uso de la energía solar y eólica (IPCC, 2018).

Los enormes esfuerzos de mitigación que se requieren desplegar en las próximas dos décadas pueden enfrentar barreras tecnológicas, económicas e institucionales que se tendrán que abordar, especialmente en los países en desarrollo. En particular, es indispensable modificar las prácticas actuales de planeación urbana y territorial, que restrinjan los cambios de uso de suelo y la deforestación, y que en su lugar promuevan prácticas sostenibles del uso de la tierra, la restauración de los ecosistemas y la modificación en los patrones de alimentación. Por lo pronto, con base en las NDC de los países se estima que la generación de GEI ascenderá entre 52 y 58 GtCO₂eq/año hasta el año 2030, lo cual obstaculizará lograr cumplir con el objetivo de limitar el calentamiento global a 1.5°C, incluso evitar un incremento de la temperatura por arriba de los 2°C (IPCC, 2018). Esta situación pone en cuestionamiento el nivel de

ambición de los países con respecto a sus NDC, los cuales requieren ser revisados con el fin de que los objetivos de mitigación no condicionados de los países se incrementen, al igual que los condicionados.

Para evitar impactos catastróficos e irreversibles por el calentamiento global se requiere que las emisiones globales del CO₂ empiecen a disminuir antes del 2030 en un rango de 25 a 35 GtCO₂eq/año. De continuar la tendencia actual, se estima que el calentamiento global será de aproximadamente 3°C para el 2100. Para limitar el calentamiento global a 1.5°C se requiere una reducción de las emisiones con respecto a los niveles del 2010 de entre un 40 y 50%. Los retos para garantizar el financiamiento requerido y los desafíos en la implementación de las diversas estrategias de mitigación que se requieren llevar a cabo son enormes. Sin embargo, de ello dependerá la supervivencia de los ecosistemas y de la humanidad. Cabe mencionar, que la distribución de los impactos del CC no sólo será desigual en las diversas regiones del mundo, sino que representará un importante obstáculo para el combate de la pobreza y alcanzar los ODS, por ende, es indispensable favorecer las sinergias entre la mitigación y adaptación. En el siguiente apartado se analizará como limitar el calentamiento del planeta a 1.5°C puede tener impactos muy significativos a nivel local, en particular en lo que respecta a la disponibilidad del agua.

BENEFICIOS DE LIMITAR EL CALENTAMIENTO GLOBAL A 1.5°C A NIVEL LOCAL: CONTRIBUCIONES PARA UNA GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA

México será uno de los países más afectado por el CC. Para el 2100, la temperatura podría incrementarse en promedio entre 0.5 y 4.8°C, aunque los impactos de este fenómeno se distribuirán de manera desigual en el territorio (Salinas Prieto et al., 2015). Durante el invierno, algunas zonas podrían enfrentar aumentos entre 3 y 3.5°C, incluso estos incrementos podrían ser de hasta 4.5°C, en particular en el norte del país. En el verano, se espera que las temperaturas aumenten entre 3.5 y 4.0°C, aunque diversas regiones en el centro y norte podrían enfrentar incrementos del orden de 4.5 y 5.0°C. En el caso de la precipitación, se espera que en el invierno ésta se reduzca en promedio en 15%, y en el verano en 5%. Sin embargo, al igual que en el caso de la temperatura, algunas zonas del país podrían enfrentar una reducción en la precipitación de entre 20 y 25%, en particular en la región centro y norte del país. En el verano, el poniente de México podría verse afectado por una reducción de la precipitación de entre 35 y 50%; en ambos casos, las reducciones esperadas tendrán serias repercusiones para atender los requerimientos de agua de los diferentes sectores, lo cual podría favorecer la emergencia de conflictos para garantizar el acceso este vital recurso. En general, con base en los escenarios de CC analizados, se espera que el incremento en la temperatura y la reducción en la precipitación afecte particularmente al norte y centro del país, y que la intensidad con la que se presentan estas variaciones se intensifiquen en el largo plazo.

Por consiguiente, las intervenciones para el desarrollo de capacidades de adaptación y para hacer frente a los embates del CC deben realizarse a nivel local, teniendo en cuenta las condiciones específicas de las zonas a intervenir. En este sentido, no sólo las variaciones en la temperatura y precipitación tendrán impactos

diferenciados a nivel local en las diferentes épocas del año, lo cual requiere ser tomado en cuenta para la planeación y gestión de los recursos hídricos (Sosa-Rodríguez, 2014).

Las variaciones proyectadas tanto en la temperatura media como en la precipitación total en México, tendrán severas repercusiones en la producción agrícola y ganadera, en la conservación de los ecosistemas, en las actividades industriales, en el suministro de agua para el consumo humano, y en la salud. Por ejemplo, con un incremento de 2°C se espera un descenso en la producción de alimentos entre un 5 y 10% de la producción actual, y con un incremento de 3°C este descenso podría superar un 20% de la producción agrícola actual, además de afectar severamente la producción acuícola y ganadera.

En este sentido, limitar la temperatura a 1.5°C reduciría las pérdidas económicas, humanas y en materia de biodiversidad, que el CC podría traer consigo para México. Otros impactos esperados por el CC en México incluyen un aumento en el nivel del mar, sequías e inundaciones, que a su vez afectarán la infraestructura disponible (i.e., generación de energía, extracción de hidrocarburos y para el transporte), además de favorecer la emergencia de problemas en la salud y suministro de agua. También se proyecta, que el CC afectará la conservación de los ecosistemas, reducirá la disponibilidad de agua y su calidad, además de amenazar la estabilidad económica.

Actualmente, la infraestructura existente y la disponibilidad de agua no pueden satisfacer las demandas de este recurso por parte de los diferentes usuarios, requiriéndose que enormes volúmenes sean transferidos desde cuencas hidrográficas cada vez más distantes (Sosa-Rodríguez, 2015). Haciendo más compleja esta situación, menos de un 10% del total del agua residual generadas en el país recibe tratamiento, por lo que el agua residual sin tratar es eliminada en los ríos y otros cuerpos de agua para su disposición final en el mar, contaminando los cuerpos de agua que se utilizan para este fin. Estas prácticas de gestión han incrementado la vulnerabilidad de México al CC, identificándose que la región más afectada por este fenómeno es la Cuenca del Valle de México (CVM).

Escenarios de cambio climático para la CVM

Originalmente, la CVM era una cuenca cerrada con un sistema interconectado de lagos, regulados por un gran acuífero. Durante las épocas de lluvias, el agua escurría de las serranías hacia los lagos, concentrándose en el Lago de Texcoco, que tenía la menor altitud sobre el nivel del mar. Por ende, las aguas de este lago eran salobres, dado que concentraban los sedimentos provenientes de la cuenca.

Sin embargo, resultado de distintas decisiones de gestión, se favoreció la pérdida de diversos servicios ecosistémicos, así como la concentración demográfica y económica, y la mayor dependencia a fuentes de agua cada vez más distantes (Sosa-Rodríguez, 2010). Actualmente, el equilibrio hídrico de la CVM se encuentra severamente modificado, por lo que el CC incrementará la situación de vulnerabilidad existente, al reducir la disponibilidad del agua tanto de las fuentes internas como externas a esta cuenca, aumentando los riesgos asociados a la sobreexplotación de los acuíferos de la región y a la escasez del agua.

Con el fin de analizar los potenciales impactos que el CC pudiera tener en la disponibilidad del agua en la CVM, se analizaron 24 modelos climáticos regionales (MCR) para tres horizontes de tiempo: corto plazo (2015 a 2039), mediano plazo (2045 a 2069) y largo plazo (2075 a 2099). Estos modelos fueron seleccionados por su capacidad para reproducir el clima en el pasado, presentando una menor incertidumbre para reproducir el clima en el futuro. Los MCR seleccionados fueron elaborados por cuatro centros de investigación que se detallan en la Tabla 1.

Los nuevos MCR, aprobados en el 5to Reporte del IPCC, basan sus proyecciones en 4 posibles trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Estos escenarios toman en cuenta para las variaciones estimadas de precipitación y temperatura, las emisiones de GEI antropogénicas, representadas por medio del forzamiento radiativo (o RCP) para el año 2100, con respecto al año 1750.

En este sentido, el RCP2.6 significa que el forzamiento radiativo (FR) será de 2.6 W/m^2 y la concentración de CO_2 al 2100 alcanzará los 421ppm. Para el RCP4.5, el forzamiento radiativo es de 4.5 W/m^2 , por lo que las concentraciones de CO_2 al 2100 se estiman en 538 ppm. Para el RCP6.0, se proyecta un FR de 6.0 W/m^2 con una concentración de CO_2 al 2100 de 670 ppm. Finalmente, para el RCP8.5, se estima un FR de 8.5 W/m^2 con una concentración de CO_2 al 2100 de 936 ppm. El RCP2.6 representa un escenario de mitigación; el RCP4.5 y RCP6.0 son escenarios de estabilización, y el RCP8.5 corresponde a un escenario con una elevada generación de GEI (IPCC, 2015) (Tabla 3).

En este sentido, cada RCP implica diferentes combinaciones de futuros económicos, demográficos, tecnológicos y de políticas de CC, combinados con modelos climáticos, de química de la atmósfera y del ciclo del carbono. En esta investigación los modelos climáticos seleccionados consideraron para la estimación de los escenarios dos tipos de forzamientos radiativos: el RCP4.5 y el RCP8.5. La Tabla 2 detalla las trayectorias de concentración representativas analizadas en los nuevos MCR.

Tabla 1. Modelos Climáticos Regionales

GCM	Centro de Modelación
CNRMCM5	Centro Nacional de Investigación Meteorológica, Francia
GFDK_CM3	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, Estados Unidos
HADGEM2_ES	Centro Hadley para la Predicción e Investigación del Clima, Reino Unido
MPI_ESM_LR	Instituto de Meteorología Max Planck, Alemania

Fuente: Elaborado con base en IPCC (2015).

Tabla 2. Trayectorias de concentración representativas

RCP	Forzamiento radiativo (W/m ²)	Concentración de CO ₂ (ppm)	Concentración de CO ₂ eq* (ppm)	Tendencia al 2100
RCP2.6	2.6	421	475	Decreciente
RCP4.5	4.5	538	630	Estable
RCP6.0	6.0	670	800	Creciente (moderado)
RCP8.5	8.5	936	1313	Creciente (acelerado)

* Incluye las concentraciones de CH₄ y N₂O.

Fuente: Elaborado con base en IPCC (2015).

Tabla 3. Reducciones en la variación de la precipitación y temperatura de limitar el calentamiento global a 1.5°C

Reducción en la variación promedio de la temperatura (°C) para el 2100				
Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Anual
-2.175	-0.805	-3.690	2.522	-1.035
Reducción en la variación promedio de la precipitación total acumulada (%)				
0.8725	1.00925	0.9575	0.895	0.9325

Fuente: Elaboración propia.

Escenarios de disponibilidad del agua para la CVM

Los escenarios de corto plazo (2015-2039), estiman que la temperatura en la CVM podría incrementarse en promedio en 1.34°C anualmente, aunque podría alcanzar cifras de hasta 2.4°C en el verano, lo cual evidentemente tendría severas repercusiones en la disponibilidad y calidad del agua. En el caso de la precipitación, está podría reducirse en promedio anualmente en -2.25%, aunque se podrían presentar reducciones en hasta un 16.45% en el verano.

Para el mediano plazo (2039-2045), las proyecciones de la temperatura reportan un posible incremento en la temperatura promedio de la cuenca del orden de los 2.67°C, el cual podría alcanzar los 4.40°C en el verano. La precipitación para este periodo en promedio podría reducirse anualmente en -4.31%, y en verano alcanzar una disminución de hasta -21.12%.

En el caso del largo plazo (2075-2099), los modelos estiman que la temperatura promedio anual de la cuenca podría aumentar en 3.73°C, aunque en el verano este incremento podría alcanzar los 6.61°C. Los impactos en la precipitación también se intensifican en este escenario, los cuales en promedio proyectan una reducción de -4.98%, pero en el verano podrían ser de hasta -25.70%.

Estos escenarios revelan que el CC podría incidir de manera muy severa para el verano, en donde se superan los límites definidos por el IPCC, tanto en la temperatura como en la precipitación, como claves para evitar impactos no sólo severos sino irreversibles en la biodiversidad, la disponibilidad y calidad del agua, en la salud, en la seguridad alimentaria, y en las diversas actividades económicas.

Con base en las variaciones esperadas tanto en la temperatura media como en la precipitación total de la cuenca, se construyeron escenarios de variación de la disponibilidad del agua en los tres horizontes de tiempo; para lo cual, fue necesario estimar el balance hídrico en cada horizonte de tiempo. El balance hídrico proporciona una estimación del agua disponible en una cuenca de estudio, y se calcula como la diferencia del agua que entra a la cuenca principalmente a través de la lluvia, menos las salidas que se explican por la transpiración de las plantas, así como la evaporación directa de los cuerpos de agua y el suelo (Bunge, 2010; DOF, 2015).

Los flujos de entrada de agua en el ciclo hidrológico comprenden las aportaciones provenientes de la precipitación, los escurrimientos de cuencas ubicadas aguas arriba y la infiltración de cuencas vecinas. Por otro lado, las salidas corresponden a todas aquellas etapas del ciclo hidrológico que implican pérdidas del agua como la evapotranspiración, la infiltración, y también se pueden considerar los cambios en el almacenamiento.

Cabe mencionar, que en esta investigación para la estimación del balance del agua utilizó lo estipulado en la NOM011-CONAGUA-2015, en particular para lo que refiere a la recarga de los acuíferos y los escurrimientos. En el caso de la evaporación se analizaron varios métodos (i.e., Priestley-Taylor, Blaney-Criddle-FAO, Turc, Thornthwaite y Coutange), siendo los resultados del método propuesto por Coutange los que menos incertidumbre presentaron.

Los resultados obtenidos evidencian que los escenarios de disponibilidad del agua prevén una reducción en el volumen de agua disponible de -10.67%, el cual podría alcanzar hasta -33.76% para el corto plazo (2015-2039). En el mediano plazo (2045-2069), la disminución en la disponibilidad del agua en la CVM podría ser de -18.73%, aunque se esperaría que alcance un valor de -34.24%. Finalmente, en el escenario de largo plazo, la reducción promedio en la disponibilidad del agua podría ser oscilar en el rango de -23.93%, y de hasta -42.72%.

En cualquiera de los escenarios, reducciones de esta magnitud tendrían severas repercusiones en la asignación del agua, e incrementaría la competencia entre los diferentes usuarios para garantizar su acceso. Desafortunadamente, todavía los impactos del CC en los recursos hídricos es un tema que no se ha incorporado en la planeación y gestión del agua, lo cual pone en evidencia los elevados niveles de vulnerabilidad de la región. Las Figuras 3, 4 y 5 comprenden los escenarios de la disponibilidad del agua en la CVM para el corto, mediano y largo plazo.

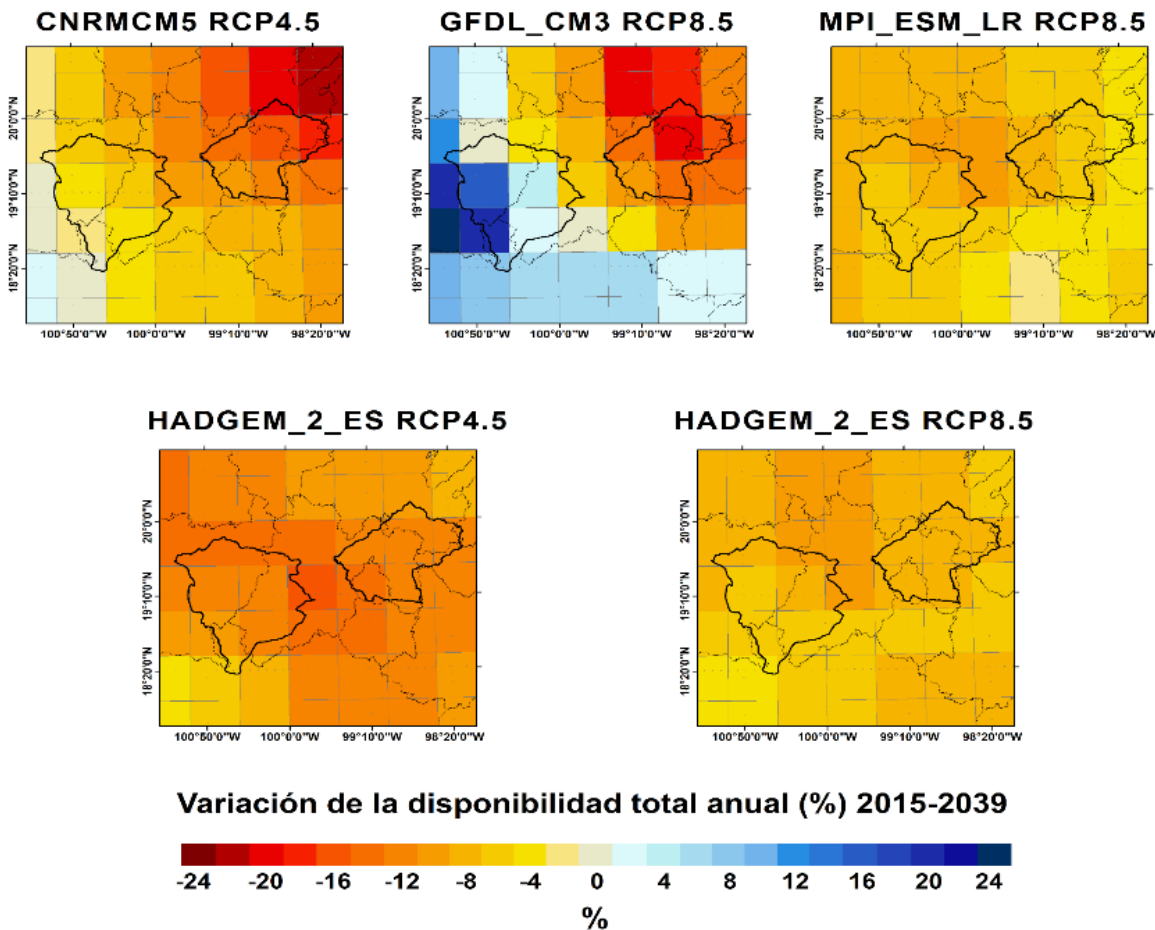
Limitar el calentamiento del planeta a 1.5°C, tendría importantes beneficios para reducir las variaciones esperadas tanto en la temperatura como en la precipitación a nivel local, que es donde los impactos del CC se materializan. Lo anterior, también se espera para el caso de la CVM y los impactos que este fenómeno pudiera tener en la disponibilidad del agua.

De limitar el calentamiento global a 1.5°C, los incrementos en la temperatura podrían reducirse entre 0.46 y 1.37°C, por lo que los aumentos esperados promedio en la CVM podrían encontrarse en un rango de entre 1.39 y 2.79°C.

Para el 2100, la reducción en la precipitación en la CVM podría ser menor entre 1.035 y 3.99%, encontrándose en un rango de entre -3.10 a 11.97%. En ambos casos, esto representará importantes beneficios en materia de disponibilidad, calidad y prevención de conflictos por garantizar el acceso al agua (Tabla 3).

La reducción en la disponibilidad del agua será menor de limitarse el calentamiento global a 1.5°C, esperándose una variación menor entre 8.44 y 10.68%, con lo que la reducción en la disponibilidad del agua para el 2100 se proyecta entre -17.94 y -25.32%, por lo que la presión para identificar estrategias alternativas para garantizar el acceso al agua será considerablemente menor, así como los niveles de vulnerabilidad para proporcionar los requerimientos mínimos de agua que permitan mantener la calidad de vida de la población de la región.

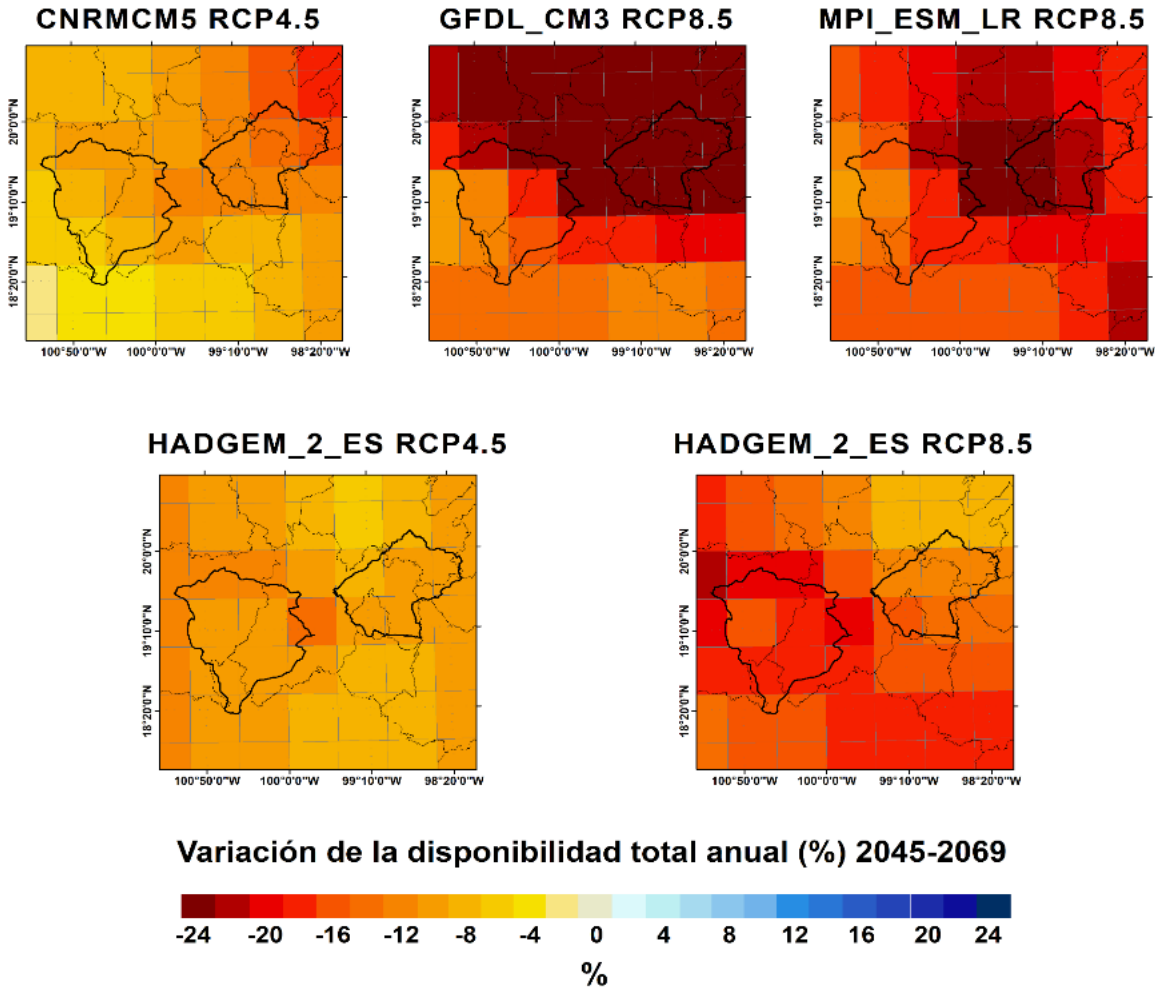
Figura 3. Escenario de disponibilidad del agua en la CVM para el corto plazo (2015-2039)



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de los escenarios de disponibilidad reveló que existen altas probabilidades de que la CVM se vea severamente afectada por los impactos del CC en la temperatura y precipitación, como resultado de los impactos negativos que este fenómeno podría tener en diversos sectores como la agricultura, la ganadería, la acuicultura, el sector forestal, el sector industrial y servicios, así como el bienestar humano, entre otros.

Figura 4. Escenario de disponibilidad del agua en la CVM para el mediano plazo (2045-2069)

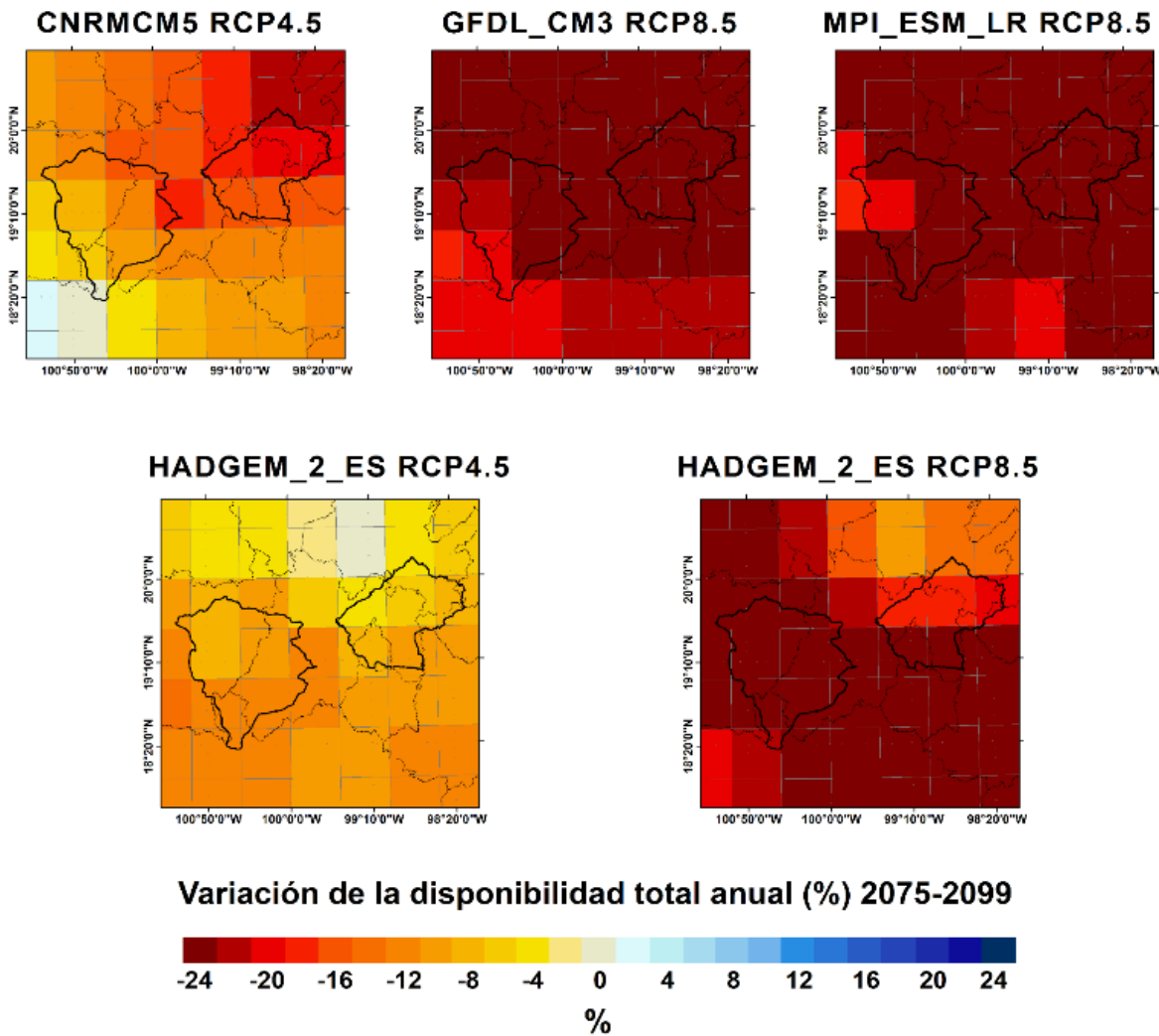


Fuente: Elaboración propia.

Estos impactos pueden poner en riesgo la estabilidad económica de los sectores y el propio desarrollo económico de la región. Por consiguiente, dada la incertidumbre actual sobre los efectos en los distintos escenarios, es importante la colaboración con los distintos sectores para desarrollar las capacidades que permitan enfrentar de la manera más efectiva los retos del CC.

Sin embargo, es importante destacar que limitar el calentamiento de la temperatura a 1.5°C reducirá de manera considerable la vulnerabilidad de la región ante el CC, de ahí que sea tan relevante que los esfuerzos de los países del mundo se comprometan a realizar las estrategias de mitigación que se requieren para alcanzar este objetivo.

Figura 5. Escenario de disponibilidad del agua en la CVM para el largo plazo (2075-2099)



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Promover sinergias entre la mitigación y adaptación es crucial para limitar el calentamiento del planeta a 1.5°C con respecto a los niveles de temperatura en el periodo preindustrial. Sin embargo, esto requerirá de importantes esfuerzos en materia de mitigación que obliga a los países del mundo a incrementar sus niveles de ambición tanto de sus metas condicionadas como a las no condicionadas. Enfrentar los impactos del CC de manera oportuna será un requisito fundamental para lograr alcanzar los ODS, siendo una precondition para erradicar la pobreza.

Evidentemente, los esfuerzos no pueden reducirse solamente a aspectos técnicos exclusivamente, dado que la implementación de tecnologías en los diferentes sectores y los nuevos enfoques de planeación del territorio y del propio ordenamiento territorial dependen de nuevos esquemas de gobernanza y del desarrollo de las capacidades institucionales que creen las condiciones para reducir tanto la vulnerabilidad como la generación de GEI en las magnitudes requeridas (entre 40 y 50% con respecto al 2010). Para ello, será indispensable promover la innovación y la transferencia de tecnología, garantizar el financiamiento para impulsar tanto las metas condicionadas como las no condicionadas, además de modificar los patrones de consumo y los estilos de vida hacia enfoques más sustentables. En este sentido, limitar el calentamiento del planeta a 1.5°C requiere la participación y compromiso de todos los sectores económicos y de la población.

Independientemente de lograr este objetivo, se requiere reconocer que los impactos del CC se sentirán a nivel local, y es en este nivel en donde se tienen que potenciar las capacidades de adaptación y mitigación. Por ello, la política del CC a nivel nacional, estatal y local, debe estar alineada con la política orientada a favorecer el desarrollo, dado que son complementarias y favorecen la conformación de ciudades y comunidades resilientes.

En particular, en el caso del impacto del CC en la disponibilidad del agua de la CVM podría provocar que ésta disminuya en cerca de la mitad, lo cual tendrá severas repercusiones económicas, ambientales y sociales que pondrían en riesgo la viabilidad del funcionamiento de las ciudades de la región, incluida la Ciudad de México, así como en la preservación de la biodiversidad. Limitar el calentamiento global en 1.5°C reducirá considerablemente estos impactos. Sin embargo, independiente de la magnitud de los impactos, se espera que éstos repercutan en todos los sectores económicos resultado de una menor disponibilidad y calidad del agua, además de favorecer la ocurrencia de más frecuentes e intensas inundaciones y sequías, que generarán mayores conflictos entre los usuarios para garantizar el acceso a este vital recurso.

Esta situación pone en evidencia la urgente necesidad de reflexionar sobre las nuevas formas en que la gestión del agua se tendría que estar llevando a cabo, en donde el CC debe ser una prioridad a considerar en la planeación y el manejo de este recurso estratégico, por lo que es indispensable modernizar y tecnificar las unidades y distritos de riego, además de evaluar y reajustar las temporadas de siembra y cosecha, dado que este sector no sólo en la CVM sino en todo el país, es el principal consumidor de agua (70% del volumen total disponible). Asimismo, la conservación de los ecosistemas (i.e., bosques), jugará un rol central al ser una de las principales

fuentes de abastecimiento. Por su parte, el sector industrial comercial y servicios, así como los usuarios domésticos, tendrán que reflexionar cómo hacer un uso más eficiente de este recurso y favorecer el aprovechamiento del agua de lluvia y del agua residual tratada, de manera que se fortalezcan las capacidades de adaptación ante un recurso más escaso. Finalmente, es indispensable fortalecer a los Consejos de Cuenca incluyendo la colaboración de las autoridades gubernamentales a nivel federal, estatal y local responsables de la gestión del agua y aquellas que están vinculadas a este recurso, con el fin de promover la adaptación al CC.

Agradecimientos

El autor agradece el apoyo brindado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) para financiar la investigación realizada como parte del proyecto 221460, de la Convocatoria de Ciencia Básica (CB2013), por medio del cual se avanzó en el conocimiento y comprensión de los impactos del CC en la disponibilidad del agua en la Cuenca del Valle de México.

FUENTES DE CONSULTA

- Bunge, V.** (2010) La Disponibilidad Natural de Agua en las Cuencas de México. *Las Cuencas Hidrográficas de México: La Disponibilidad Natural del Agua*. México: CONAGUA.
- Delworth, T.L., Zeng, F., Vecchi, G.A., Yang, X., Zhang, L., Zhang, R.** (2016) The North Atlantic Oscillation as a driver of rapid climate change in the Northern Hemisphere. *Nature Geoscience*, 9(7), 509-512.
- DOF** (2015) *NOM-011-CONAGUA-2015*. México, CDMX: Gobierno Federal.
- FAO** (2014) *Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks*. Rome: FAO, Climate, Energy and Tenure Division.
- IPCC** (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC.
- IPCC** (2018) *Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Geneva, Switzerland: WMO, IPCC.
- Le Quéré, C., Andrew, R.M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J., Pickers, P.A., Korsbakken, J.I., Peters, G.P., Canadell, J.C., Arneeth, A., Arora, V.K., Barbero, L., Bastos, A., Bopp, L., Chevallier, F., Chini, L.P., Ciais, P., Doney, S.C., Gkritzalis, T., Goll, D.S., Harris, I., Haverd, V., Hoffman, F.M., Hoppema, M., Houghton, R.A., Hurtt, G., Ilyina, T., Jain, A.K., Johannessen, T., Jones,**

C.D., Kato, E., Keeling, R.F., Goldewijk, K.K., Landschützer, P., Lefèvre, N., Lienert, S., Liu, Z., Lombardozzi, D., Metz, N., Munro, D.R., Nabel, J.E.M.S., Nakaoka, S., Neill, C., Olsen, A., Ono, T., Patra, P., Peregon, A., Peters, W., Peylin, P., Pfeil, B., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson, E., Rocher, M., Rödenbeck, C., Schuster, U., Schwinger, J., Séférian, R., Skjelvan, I., Steinhoff, T., Sutton, A., Tans, P.P., Tian, H., Tilbrook, B., Tubiello, F., van der Laan-Luijkx, I.T., van der Werf, G.R., Viovy, N., Walker, A.P., Wiltshire, A.J., Wright, R., Zaehle, S., Zheng, B. (2018) Global Carbon Budget 2018. *Earth Syst. Sci. Data*, 10 (2018), 2141–2194. Doi: 10.5194/essd-10-2141-2018.

Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A., Jones, P.D. (2012) Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 dataset, *J. Geophys. Res.*, 117 (2012), D08101. doi: 10.1029/2011JD017187.

Salinas Prieto, J.A., Colorado Ruíz, G., Maya Magaña, M.E. (2015) Capítulo 2. Escenarios de cambio climático para México. En: Arreguín Cortés, F.I., López Pérez, M., Rodríguez López, O., Montero Martínez, M.J. (Coord.). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático* (pp. 41-71). México: IMTA.

Sosa-Rodríguez FS (2015) La política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Revista Internacional de Estadística y Geografía: Realidad, Datos y Espacio*. INEGI, 6 (2), 4-23.

Sosa-Rodríguez, F.S. (2013) From Federal to City Mitigation and Adaptation: Climate Change Policy in Mexico City. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change Journal*, 19 (2013), 969-996. doi: 10.1007/s11027-013-9455-1

UNFCCC (2016) Climate Action Now. Summary for Policy Makers. Geneva: UNFCCC.

WMO (2018) *WMO Greenhouse Gas Bulletin*. Geneva: WMO.