

# PLURALIDAD Y CONSENSO

## Cambio climático



REVISTA DEL INSTITUTO BELISARIO DOMÍNGUEZ DEL SENADO DE LA REPÚBLICA

NUEVA ÉPOCA

AÑO 10

NÚMERO 46

OCTUBRE-DICIEMBRE 2020



# PluralidadyConsenso

Es una publicación trimestral del  
Instituto Belisario Domínguez  
del Senado de la República

Publicación a cargo de la Dirección General  
de Difusión y Publicaciones

Presidente del IBD

**Senador Miguel Ángel Osorio Chong**

Secretario Técnico del IBD

**Rodrigo Ávila Barreiro**

Directora General de Difusión y Publicaciones

**Martha Patricia Patiño Fierro**



Directora de PluralidadyConsenso

**Martha Patricia Patiño Fierro**

Coordinación editorial

**Magda Olalde Martínez**

Jefe de redacción

**Gerardo Cruz Reyes**

**José Gerardo Ortega Moreno**

PluralidadyConsenso, Año 10, No. 46, octubre-diciembre 2020 es una publicación trimestral del Senado de la República a través del Instituto Belisario Domínguez, con domicilio en Donceles No. 14, Colonia Centro, Alcaldía Cuauhtémoc, C.P. 06020, México D.F., Tel. 57224824, [www.ibd.senado.gob.mx](http://www.ibd.senado.gob.mx); [@IBDSenado](https://twitter.com/IBDSenado), [f](https://www.facebook.com/IBDSenado) IBDSenado; [pluralidadyconsenso.ibd@senado.gob.mx](mailto:pluralidadyconsenso.ibd@senado.gob.mx) Reserva de Derecho al uso exclusivo 04-2014-111909344900-102 otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. ISSN 2395-8138. Certificado de Licitud de Título y Contenido 16413 otorgado por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación.

Editada y distribuida por el Senado de la República a través del Instituto Belisario Domínguez.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores y no reflejan, necesariamente, los puntos de vista del Instituto Belisario Domínguez o del Senado de la República.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Senado de la República a través del Instituto Belisario Domínguez.

Representante Legal y Editorial: Enrique Antonio Netzahualpilli de Icaza Pro.

# Contenido

Erogaciones para la Transición Energética  
y la Mitigación de los Efectos del  
Cambio Climático 2012-2020

Gabriela Morales Cisneros

2

Cambio climático: una amenaza latente  
para México

Guillermo N. Murray Tortarolo

30

¿Qué entendemos por cambio climático?  
Estudios sobre las ideas y los modelos explicativos  
de los estudiantes

Isabel García-Rodeja Gayoso  
Vanessa Sesto Varela

36

El peso de las ciudades mexicanas en un contexto  
de cambio climático: consumo de energía y  
materiales del Sistema Urbano Nacional

Gian Carlo Delgado Ramos

44

La opinión pública frente al cambio  
climático en México

Itzkauhtli Zamora Saenz

56

Impacto del cambio climático en el mundo

Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A.C.

68

Evolución de la laguna de Texcoco en México  
y del lago de Valencia en Venezuela y su  
relación con el cambio climático actual

Roque García Ruiz

74

Impuestos ambientales en México.  
Una opción para elevar la recaudación  
tributaria y mejorar el medio ambiente

Javier Galán Figueroa  
José Luis Clavellina Miller

82

Cambio climático global  
¿Hacia dónde vamos?  
¿Qué necesitamos?

José Clemente Rueda Abad  
Rocío del Carmen Vargas Castilleja  
Liliana López Morales

94

1

Recomendaciones bibliográficas

100

# Erogaciones para la Transición Energética y la Mitigación de los Efectos del Cambio Climático 2012-2020

Fotografía: ©M.studio | AdobeStock

2

LA INTEGRACIÓN DE ASPECTOS RELATIVOS A LA TRANSICIÓN energética y el aprovechamiento sustentable de la energía en el Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) responde al mandato de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en 2008,<sup>1</sup> donde se establecieron las bases para regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética (Guzmán Luna, *et. al.*, 2018; DOF, 2012).

En seguimiento a lo estipulado en el artículo 22 de esta Ley, en noviembre de ese mismo año se publica la Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Ener-

<sup>1</sup> La Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética tuvo como objeto "regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética" (DOF, 2008). Fue abrogada el 24 de diciembre de 2015.



M. en C. Gabriela Morales Cisneros

Investigadora «B» de la Dirección General de Finanzas del Instituto Belisario Domínguez. Es maestra en Economía por el Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE) y licenciada en Economía por el Instituto Politécnico Nacional (IPN).

gía (ENTEASE), como el mecanismo mediante el cual el Estado Mexicano impulsaría las políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias, promover la eficiencia y sustentabilidad energética, y la reducción de la dependencia de México de los hidrocarburos como fuente primaria de energía (SENER, 2015).

En materia de gasto público, el artículo 24 de la citada Ley indica que, con el fin de ejercer con eficiencia los recursos del sector público, evitando su dispersión, la ENTEASE comprenderá los mecanismos presupuestarios para asegurar la congruencia y consistencia de las acciones destinadas a promover el aprovechamiento de las tecnologías limpias y energías renovables, así como el ahorro y uso óptimo de toda clase de energía en los procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo.

Adicionalmente, el 29 de noviembre de 2008, entraron en vigor nuevas leyes en el sector energético mexicano, en las que se buscó modernizar al sector y garantizar la seguridad energética del país mediante el fortalecimiento de la gobernanza al interior de Petróleos Mexicanos; la creación de la Comisión Nacional de Hidrocarburos (CNH) como ente regulador para las actividades de exploración y producción de hidrocarburos; y el reforzamiento de las atribuciones de la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (SENER, 2013).

No obstante, es hasta 2012 que se reforman diversos artículos de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria con el fin de que se incluyeran en el PEF los Anexos Transversales, que se definieron como anexos del Presupuesto donde concurren programas presupuestarios, componentes de éstos y/o Unidades Responsables, cuyos recursos son destinados a acciones y servicios vinculados con el desarrollo de diversos sectores. Entre los sectores incluidos en esta definición de Anexos Transversales se encuentran: Igualdad entre Mujeres y Hombres; Desarrollo Integral de los Pueblos y Comunidades Indígenas; Desarrollo de los Jóvenes; Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable; Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación; Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía; Atención a Grupos Vul-

nerables; y los Recursos para la Mitigación de los efectos del Cambio Climático.

Con ello, a partir del PEF-2012 se incluyeron erogaciones de gasto dirigidas a estas estrategias transversales, por lo que se especificó la partida de gasto que se destinaría en diversos programas presupuestarios para apoyar Acciones de Mitigación del Cambio Climático, para garantizar el cumplimiento de acciones y programas contemplados en la normativa en la materia como la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética y la Estrategia Nacional para la Transición Energética (DOF, 2012; Guzmán Luna, *et. al.*, 2018).

Asimismo, en el artículo segundo transitorio de la esta reforma se instruye a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) enviar a la Cámara de Diputados la metodología, factores, variables y fórmulas utilizadas para elaborar los Anexos Transversales, entre los que se incluyen los recursos para la Mitigación de los Efectos del Cambio Climático, entre otros. Sin embargo, la información presentada en la metodología corresponde a porcentajes o cuotas del presupuesto asignado a los programas presupuestarios y/o de Unidades Responsables de los Ramos Administrativos que son considerados para la integración de dichos Anexos y no corresponde a presupuesto adicional.

La Reforma Energética —aprobada en 2013 e implementada a partir de 2014— representó un cambio de paradigma, basado en la aprobación de un nuevo marco jurídico e institucional, que modifica de manera profunda e integral los sectores de hidrocarburos y de electricidad. Esta Reforma creó mercados competitivos en áreas donde antes únicamente podían participar empresas estatales, dando lugar a un esquema de competencia y colaboración al permitir que las empresas privadas inviertan de manera individual o se asocien con las empresas productivas del Estado para diversificar riesgos, compartir inversiones y asimilar nuevas tecnologías (SENER, 2016).

Además, la Reforma Energética creó y modificó leyes, reglamentos y normas mexicanas para incentivar el uso de energías limpias, disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y acelerar la transición energética hacia tecnologías más limpias. En la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, el Ejecutivo Federal señaló que la Reforma Energética

fomenta el aprovechamiento de las energías limpias y la eficiencia energética, ya que (SENER, 2016):

- Elimina barreras de entrada y simplifica los trámites de interconexión, con lo que incentiva la inversión privada.
- Establece metas claras para favorecer la capacidad renovable del Sistema Eléctrico Nacional (SEN).
- Incorpora instrumentos que permiten realizar consultas y evaluaciones del impacto social de los proyectos.
- Promueve la comercialización de energía bajo condiciones de competencia, mediante el nuevo mercado eléctrico.
- Incentiva las inversiones con mecanismos como los Certificados de Energías Limpias (CEL) y apoyos fiscales.
- Crea un marco regulatorio favorable para impulsar la generación limpia distribuida.
- Incorpora infraestructura de transmisión para transportar la electricidad generada.

Derivado de la Reforma Energética, se expide la Ley de Transición Energética<sup>2</sup> que establece, en el Artículo 24, la obligación de la SHCP de consolidar en el proyecto de PEF, las provisiones de recursos del sector público necesarios para cumplir con los objetivos prioritarios establecidos en la Estrategia y en los otros instrumentos de planeación, sin perjuicio del régimen especial aplicable a las empresas productivas del Estado.

Estas disposiciones se ven reflejadas en la integración de Anexos Transversales específicos del Decreto de PEF de cada ejercicio fiscal; mismos que se incorporan al Tomo I de Información Consolidada del Gasto Programable en el que se especifican las Unidades Responsables (ejecutoras de gasto) que realizan acciones vinculadas con la Estrategia de Transición Energética para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios (Anexo 15); así como los programas presupuestarios mediante los cuales se canalizan recursos para la Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático (Anexo 16). Con base en estos instrumentos, el presente documento busca aportar información sobre la integración del presupuesto federal en materia

2 Este proceso implica la derogación de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (DOF, 2015).

de Transición Energética y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático.

## Aspectos generales de las erogaciones vinculadas a la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios

En México, la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Aprovechamiento de la Transición Energética fue determinante para que, a partir de 2012, se integrara un Anexo Transversal en el PEF en el que se especifica, a nivel de Unidad Responsable, las erogaciones destinadas a la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

A este ordenamiento legal se sumaron disposiciones de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria en la que se incorporan principios rectores para incluir en el proyecto de presupuesto de egresos las provisiones de gasto que correspondan a la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. De esta forma, en el PEF-2012 se integró el Anexo denominado "Evolución de las Erogaciones de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía".

En este ejercicio fiscal, el Anexo agrupó a siete ramos Administrativos: Gobernación, Agricultura y Desarrollo Rural (Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, hasta 2018), Economía, Salud, Medio Ambiente y Recursos Naturales, Energía y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. De éstos, Energía concentró el 98.9% de los recursos concernientes a la Estrategia Nacional; monto del cual la mayor participación correspondió a la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

La Reforma Energética de 2013 modificó el orden normativo en materia de transición energética (ver figura 1), al abrogar la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Aprovechamiento de la Transición Energética y establecer a la Ley de Transi-

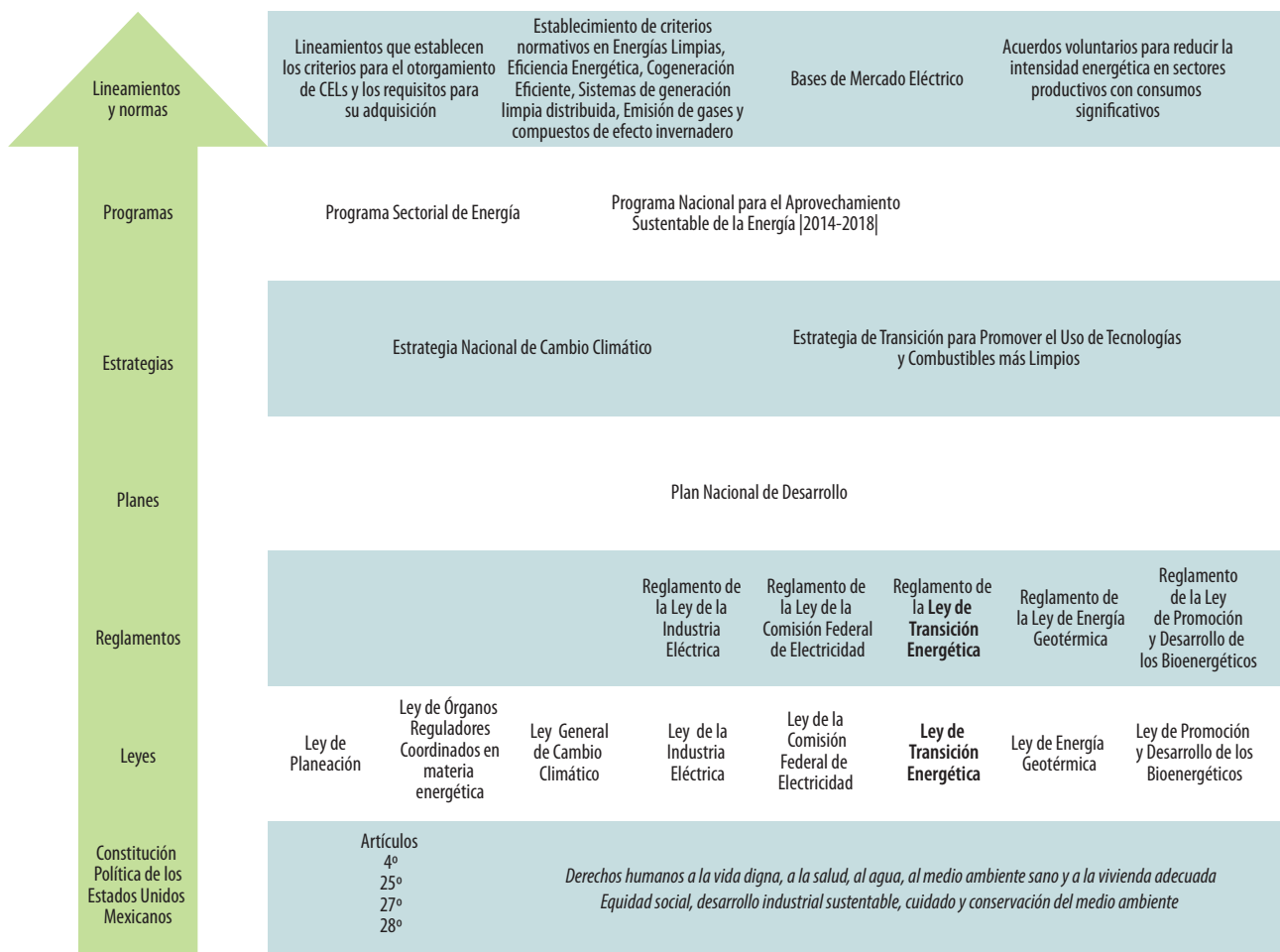
ción Energética<sup>3</sup> como la norma que regula el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos. Esta nueva Ley mandata a la SHCP a consolidar en el proyecto de pef, las provisiones de recursos del sector público necesarios para

cumplir con los objetivos prioritarios establecidos en la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios y en los otros instrumentos de planeación.

Un aspecto relevante de la Ley de Transición Energética es que establece metas obligatorias para la generación por medio de energías limpias a que se compromete México, de acuerdo con los niveles siguientes: 25 % en 2018, 30 % en 2021 y 35 % para 2024. Además, identifica a las subastas de largo plazo como el mecanismo que permitiría a la CFE hacerse de energía limpia suficiente para cumplir con sus obligaciones legales.

3 La Ley de Transición Energética se publicó en el DOF el 24 de diciembre de 2015 y es reglamentaria de los párrafos 6 y 8 del artículo 25 Constitucional, así como de los transitorios Décimo Séptimo y Décimo Octavo del Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la CPEUM, en materia de Energía, publicado en el DOF el 20 de diciembre de 2013.

**Figura 1. Marco Legal de la Transición Energética**



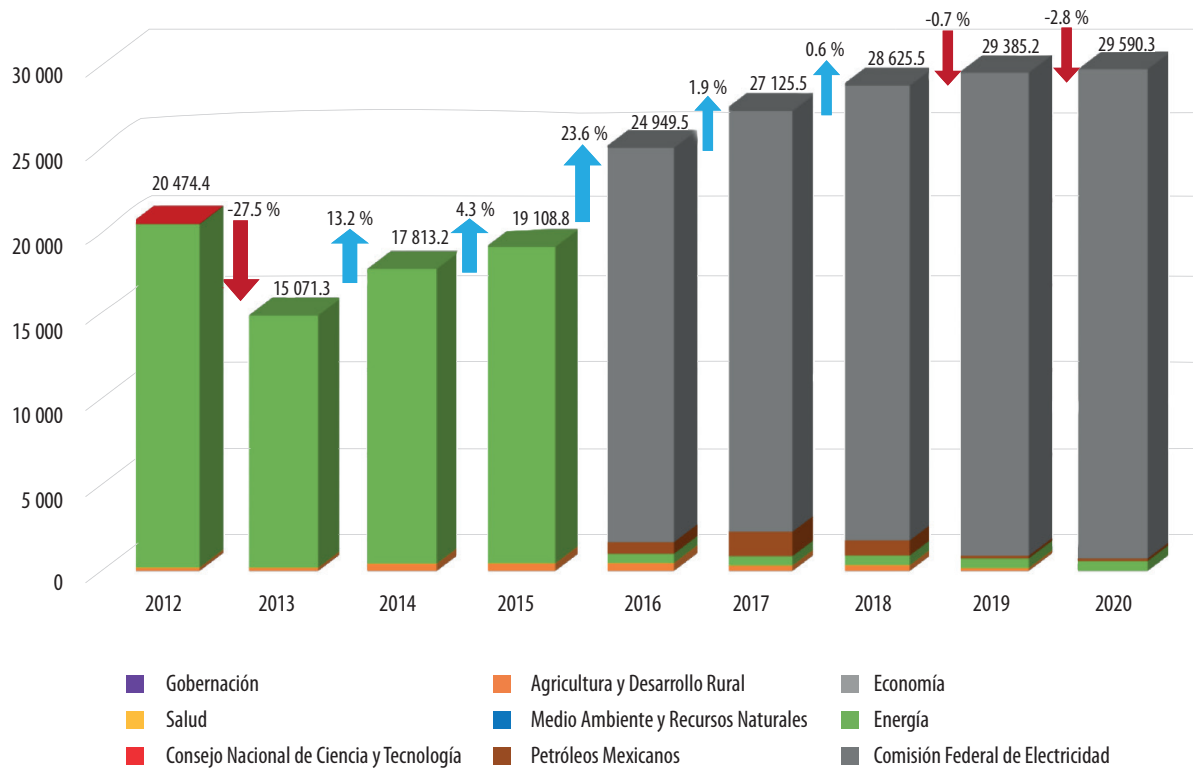
Fuente: tomado de *Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios* (SENER, 2016).

La denominación de este anexo ha cambiado para ajustarse a la normatividad aplicable en la materia, por lo que en el PEF-2016 se identifica el Anexo 15 “Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía”. En este ejercicio fiscal se especifica la participación de Petróleos Mexicanos y la CFE como Empresas Productivas del Estado (EPE) derivado de la Reforma Energética de 2014, ya que hasta 2015 dichas previsiones de gasto se integraban en el Ramo 18 Energía. A partir de 2016, la CFE aporta el 93.2% de las erogaciones establecidas en este Anexo Transversal; mismas que se han incrementado consistentemente hasta el PEF-2020, en el que la CFE concurre con el 97.5%

del total de recursos identificados con la “Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios”.

Entre 2012 y 2013 los recursos asignados en este Anexo se redujeron de forma significativa; a partir del PEF-2013 aumentaron de forma consistente hasta 2018 para 2019 y 2020 se registran disminuciones anuales reales. De forma que, para el periodo 2012-2020, las erogaciones aprobadas por la Cámara de Diputados para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios presentan una tasa media de crecimiento anual real (TM-CAR) de 0.6% (ver figura 2).

**Figura 2. Recursos federales destinados a la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios por Ramo Administrativo, 2012-2020 (millones de pesos corrientes y variaciones anuales reales)**



Nota: se emplea como deflactor el índice de precios implícito del Producto Interno Bruto 2020=100.  
Fuente: elaborado con información del PEF 2012 a 2020, SHCP.

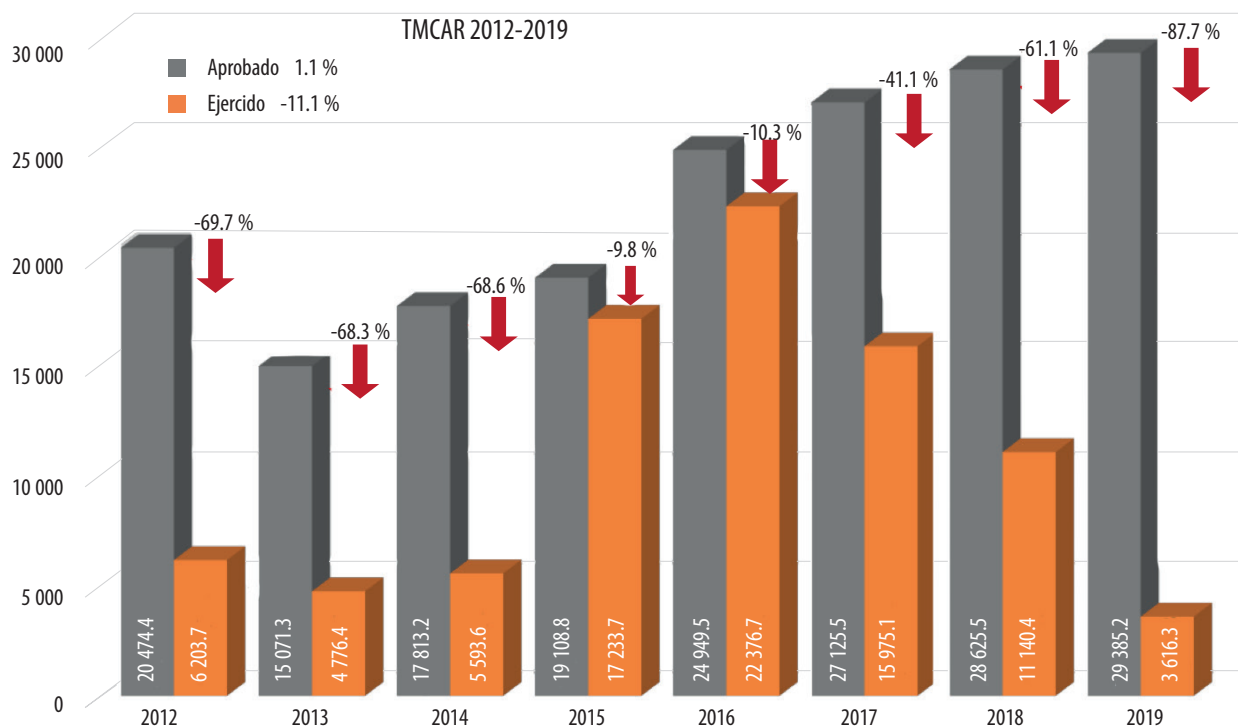


A pesar del incremento constante en las previsiones presupuestarias del Anexo durante el periodo 2012-2019, en la mayor parte de ejercicios fiscales el gasto ejercido —que presenta una TMCAR negativa de 11.1%— resulta menor a lo aprobado —con una TMCAR de 1.1% para el mismo periodo— (ver figura 3). Esta diferencia se explica fundamentalmente por la reclasificación del gasto originalmente planteado en los ramos 12 Salud y 16 Medio Ambiente y Recursos Naturales; así como la reducción de erogaciones

para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios por parte de la CFE.

La información contemplada en el Decreto del PEF y en los Tomos del PEF aprobado, no incluyen el detalle de los programas presupuestarios mediante los cuales se implementan acciones específicas para dar cumplimiento a los objetivos de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, ni sobre su vinculación con proyectos de energía limpia.

**Figura 3. Evolución de los recursos aprobados y ejercidos en el Anexo Transversal de la Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, 2012-2019 (millones de pesos corrientes y variaciones porcentuales reales)**



Nota: se emplea como deflactor el índice de precios implícito del Producto Interno Bruto 2020=100.

Fuente: elaborado con información del PEF 2012 a 2019 y la CHPF 2012 a 2019, SHCP.

## Aspectos generales de las Erogaciones para la Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático

En el tema de Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático, la Ley General de Cambio Climático reglamenta las disposiciones Constitucionales en aspectos como:

- Garantizar el derecho al medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;
- Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para que México contribuya a lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando, en su caso, lo previsto por el artículo 2.º de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma;
- Regular a las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático,
- Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades de respuesta al fenómeno;
- Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación del cambio climático;
- Establecer las bases para la concertación con la sociedad;
- Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable, de bajas emisiones de carbono y resiliente a los fenómenos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático, y
- Establecer las bases para que México contribuya al cumplimiento del Acuerdo de París, que

tiene entre sus objetivos mantener el aumento de la temperatura media mundial por debajo de 2°C, con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir con los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1.5°C, con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.

Una de las principales características de la Ley General de Cambio Climático es el establecimiento de un conjunto de metas con el fin de orientar el desempeño de México hacia una economía baja en carbono. Respecto a emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (GEI), en el Artículo Segundo Transitorio de esta Ley se asume una meta aspiracional de reducir las al 2020 en un 30% con respecto a la línea base y un 50% de reducción de emisiones al 2050, en relación con las emitidas en el año 2000. Por su parte, el Artículo Tercero Transitorio establece el objetivo de lograr por lo menos 35% de generación de energía eléctrica a base de energías limpias para el año 2024 (SENER, 2016).

Como ya se comentó, a partir de la reforma a la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria de 2012, en el PEF-2013 se incluye la descripción de los ramos Administrativos y los programas presupuestarios que concurren en el Anexo Transversal "Recursos para la Mitigación de los Efectos del Cambio Climático". En este caso, la denominación del Anexo se modificó para incluir el concepto de adaptación, por lo que se presenta como Anexo 16 "Recursos para la Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático".

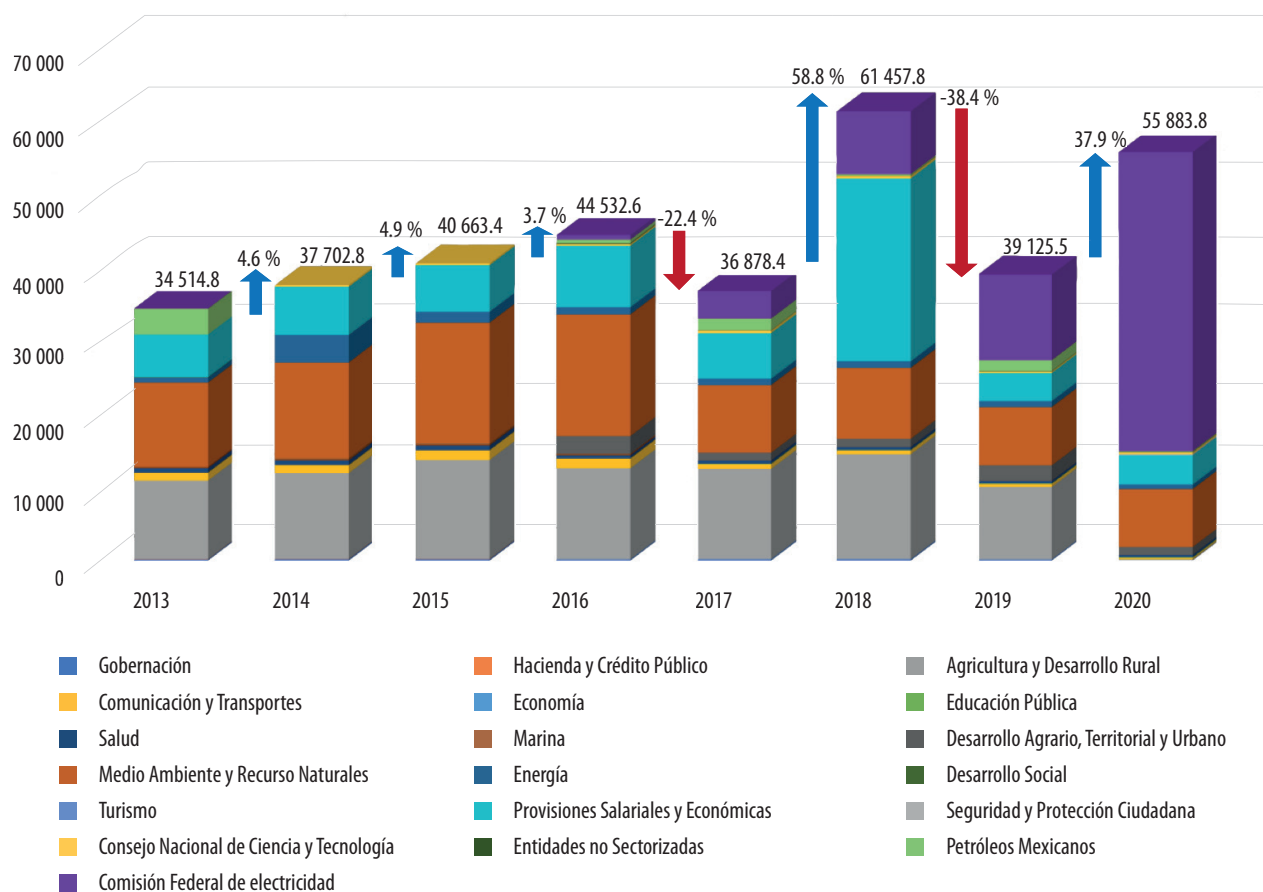
Entre 2013 y 2020, los recursos aprobados en este Anexo aumentaron de forma consistente, ya que presentan una tasa media de crecimiento anual real ( $T_{MCA}$ ) positiva de 1.1; con excepción de los presupuestos de 2017 y 2019, en que las erogaciones para la Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático aprobadas por la Cámara de Diputados presentaron reducciones respecto a lo asignado en el año previo (ver figura 4).

En 2013, este Anexo se integra por aportaciones de 38 programas presupuestarios de 14 ramos Administrativos. En la revisión a la estructura programática de 2016, las erogaciones para la Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático se realizan mediante 53 programas de 15 Entidades; en este año se reintegran las EPE con dos programas de Petróleos Mexicanos y tres de la CFE.

Los cambios en los Ramos Administrativos y el número de programas presupuestarios integrados en el Anexo 16, refleja cierta consistencia con las reformas realizadas a la estructura de la Administración Pública Federal (APF) que resectorizan funciones entre dependencias; así como por la revisión

de la estructura programática que se realiza como parte del ciclo presupuestario, particularmente en 2016 cuando la SHCP instrumentó un proceso de reingeniería del gasto público con un enfoque de Presupuesto Base Cero (Morales *et al*, 2015).

**Figura 4. Recursos federales para la Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático, 2013-2020 (millones de pesos corrientes y variaciones porcentuales reales)**



Nota: se emplea como deflactor el índice de precios implícito del Producto Interno Bruto 2020=100.  
Fuente: elaborado con información del PEF 2013-2020, SHCP.

Respecto a la distribución de recursos, entre 2013 y 2017, los ramos de Medio Ambiente y Recursos Naturales y de Agricultura y Desarrollo Rural concentraron la mayor proporción de recursos del Anexo (64.4% en 2013, 65.9 en 2014, 73.9% en 2015, 65.3% en 2016 y 58.6% en 2017). Sin embargo, para 2018 la mayor cantidad de recursos

corresponde al Ramo 23 Provisiones salariales y Económicas (40.7%) —por recursos destinados a los fondos con los que se atienden desastres naturales—, que junto con Agricultura y Desarrollo Rural representaron el 64.0% del total; mientras que, en los últimos dos años, la mayor participación es de la CFE (29.9% y 73.2%, respectivamente).

La importancia relativa que adopta la CFE en la distribución de recursos detallada en el Anexo 16 va en línea con lo expresado con Guzmán et al (s.f.), que consideran que el sector energía es uno de los más relevantes en materia de cambio climático pues en el último Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), este sector contribuye con el 67.3% de las emisiones de las que la generación de energía supone el 21.8%. Ello se debe, principalmente, a la quema de combustibles fósiles para la generación energética y a que México es un país productor de hidrocarburos, cuyas finanzas públicas dependen en más del 32% de la explotación de estos recursos.

En este sentido, Fernández (2020) señala que estos recursos etiquetados por la CFE son destinados a la construcción de infraestructura —ductos— para el transporte de gas natural. Evidentemente los recursos están mal clasificados, pues el gas metano es un combustible fósil que cuando es quemado se libera a la atmósfera bióxido de carbono, el más co-

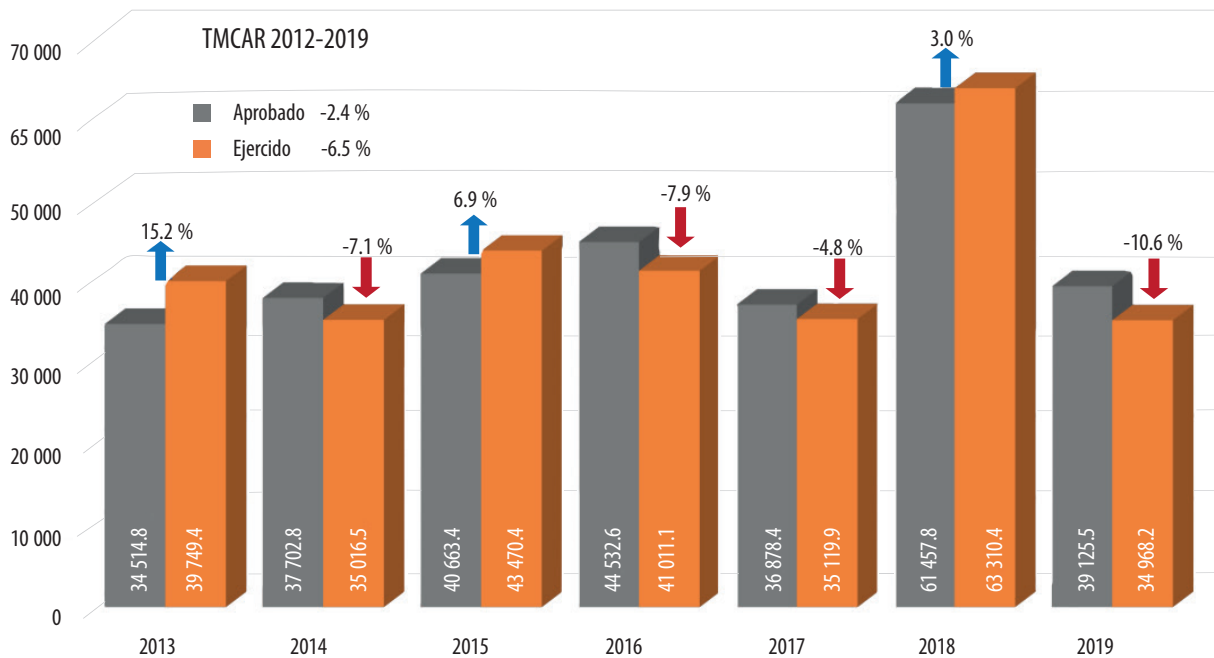
nocido de los gases de efecto invernadero.<sup>4</sup> Por lo que la clasificación equivocada que reciben algunos recursos considerados como apoyo al combate al cambio climático generan lo contrario, ya que se dirigen a actividades que crean emisiones de gases de efecto invernadero.

Durante el periodo 2013-2019, las previsiones presupuestarias del Anexo 16 presentan diferencias al compararse con el gasto ejercido en cada ejercicio fiscal, por lo que los ajustes realizados a la composición de ramos y programas presupuestarios que se vinculan con la Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático resultan en TMCAR negativas para ambos conceptos de gasto 2.4% para el aprobado y de 6.5% para el ejercido (ver figura 5).

4 De hecho, el autor menciona que, si se llega a fugar en su estado crudo, el metano tiene un potencial de efecto invernadero 86 veces mayor que el propio bióxido de carbono, considerando un periodo de 20 años.

**Figura 5. Evolución de los recursos aprobados y ejercidos en el Anexo Transversal para la Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático, 2013-2019 (millones de pesos corrientes y variaciones porcentuales reales)**

10



Nota: se emplea como deflactor el índice de precios implícito del Producto Interno Bruto 2020=100.  
Fuente: elaborado con información del PEF 2013 a 2019 y la CHPF 2013 a 2019, SHCP.

Las diferencias se observan por ajustes de gasto en diversos programas, a pesar de que en varios años los recursos ejercidos por el Fondo de Desastres Naturales (FONDEN) superan significativamente a la previsión presupuestaria del PEF (ver cuadro 1). Además, la CFE resulta quien aporta más a las acciones de Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático, luego de la incorporación a este Anexo

del programa *Servicios de transporte de gas natural, que cambió su denominación en el PEF-2020*—ya que hasta 2019 se denominó *Operación de mecanismos para mejorar la comercialización de servicios y productos*— derivado de la reestructura del área que se encargará de proveer el suministro de gas para las centrales generadoras (flete).

Fotografía: ©marako85 | AdobeStock



**Cuadro 1. Recursos aprobados y ejercidos para la Adaptación y Mitigación de los Efectos del Cambio Climático por Ramo y Programa presupuestario, 2013, 2016 y 2019 (millones de pesos corrientes)**

Ramo / Programa presupuestario <sup>1</sup>	PEF-2013		CHPF-2013		PEF-2016		CHPF-2016		PEF-2019		CHPF-2019	
	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %
Total	34 514.8	100.0	39 749.4	100.0	44 532.6	100.0	41 011.1	100.0	39 125.5	100.0	34 968.2	100.0
04												
Gobernación	202.1	0.6	142.4	0.4	206.7	0.5	185.9	0.5	193.2	0.5	79.8	0.2
Coordinación del Sistema Nacional de Protección Civil	202.1	0.6	142.4	0.4	206.7	0.5	185.9	0.5	193.2	0.5	79.8	0.2
06												
Hacienda y Crédito Público	46.2	0.1	48.0	0.1								
Manejo y Conservación de Recursos Naturales en Zonas Indígenas	46.2	0.1	48.0	0.1								
08												
Agricultura y Desarrollo Rural <sup>2</sup>	10 730.0	31.1	11 444.5	28.8	12 455.9	28.0	9 752.4	23.8	9 911.2	25.3	5 802.7	16.6
Crédito Ganadero a la Palabra									2 778.3	7.1	957.9	2.7
Desarrollo Rural									4 846.5	12.4	3 357.6	9.6
Programa de Fomento a la Agricultura					700.0	1.6	1 082.6	2.6	665.1	1.7	329.9	0.9
Programa de Fomento a la Agricultura Ganadería Pesca y Acuicultura					1 795.5	4.0						
Programa de Fomento Ganadero					4 341.9	9.8	3 969.3	9.7	4 44.8	1.1	56.2	0.2
Programa de Prevención y Manejo de Riesgos	2 500.0	7.2	2 233.6	5.6								
Programa de Productividad y Competitividad Agroalimentaria					4 35.4	1.0	223.0	0.5	17.5	0.0	0.0	0.0
Programa de Productividad Rural					5 183.0	11.6	2 907.1	7.1				
Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales	8 230.0	23.8	9 210.9	23.2								
Programa de Fomento a la Productividad Pesquera y Acuicola							1 570.3	3.8	1 159.0	3.0	1 101.0	3.1

Continúa...

Ramo / Programa presupuestario <sup>1</sup>	PEF-2013		CHPF-2013		PEF-2016		CHPF-2016		PEF-2019		CHPF-2019	
	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %
09	1 068.6	3.1	1 431.8	3.6	1 329.3	3.0	1 182.6	2.9	404.8	1.0	414.9	1.2
K035	1 068.6	3.1	1 431.8	3.6								
K032					1 329.3	3.0	1 182.6	2.9	404.8	1.0	414.9	1.2
10					10.0	0.0	3.2	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
F003					10.0	0.0	3.2	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0
11									69.5	0.2	71.5	0.2
S243									1.0	0.0	1.0	0.0
E010									51.1	0.1	52.4	0.1
U006									17.4	0.0	18.1	0.1
12												
G004	634.2	1.8	713.9	1.8	443.5	1.0	265.2	0.6	358.4	0.9	136.6	0.4
U009	634.2	1.8	713.9	1.8	87.3	0.2	106.1	0.3	13.8	0.0	3.1	0.0
13	200.8	0.6	189.7	0.5	356.3	0.8	159.1	0.4	344.6	0.9	133.4	0.4
A001	200.8	0.6	189.7	0.5	180.7	0.4	217.6	0.5	19.5	0.0	18.1	0.1
A002	200.8	0.6	189.7	0.5	180.7	0.4	217.6	0.5	19.5	0.0	18.1	0.1
15												
S273					2439.3	5.5	1 636.4	4.0	2 084.7	5.3	696.2	2.0
S254					2417.9	5.4	1 625.4	4.0	2 084.7	5.3	696.2	2.0
					21.4	0.0	11.0	0.0				

Continúa...

Ramo / Programa presupuestario <sup>1</sup>	PEF-2013		CHPF-2013		PEF-2016		CHPF-2016		PEF-2019		CHPF-2019			
	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %		
S237			49.3	0.1										
16	Medio Ambiente y Recursos Naturales		11 483.9	33.3	10366.8	26.1	16631.9	37.3	10602.3	25.9	7972.5	20.4	6933.8	19.8
O001	Actividades de apoyo a la función pública y buen gobierno	2.0	0.0	0.7	0.0	0.0	3.6	0.0	3.8	0.0	3.2	0.0	3.1	0.0
M001	Actividades de apoyo administrativo	8.4	0.0	5.1	0.0	10.4	0.0	0.0	9.4	0.0	10.1	0.0	11.8	0.0
S074	Agua Potable Drenaje y Tratamiento										802.1	2.0	512.2	1.5
S219	Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable					5 178.0	11.6	4811.7	11.7	1 154.5	3.0	1 463.4	4.2	
E005	Capacitación Ambiental y Desarrollo Sustentable	2 101.7	6.1	1 724.3	4.3	5.1	0.0	3.8	0.0	3.3	0.0	1.4	0.0	
U020	Conservación y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre	162.1	0.5	236.0	0.6	188.6	0.4	53.3	0.1	145.4	0.4	0.0	0.0	
R015	Fideicomisos Ambientales			1 861.1	4.7	3.4	0.0	54.7	0.1					
G010	Gestión integral y sustentable del agua									200.0	0.5	198.9	0.6	
K007	Infraestructura de agua potable alcantarillado y saneamiento					3 993.0	9.0	27.7	0.1	1 281.0	3.3	0.0	0.0	
G005	Inspección y Vigilancia del Medio Ambiente y Recursos Naturales					94.4	0.2	93.7	0.2	69.3	0.2	88.0	0.3	
E009	Investigación científica y tecnológica	515.2	1.5	399.6	1.0	213.4	0.5	222.1	0.5	210.2	0.5	209.7	0.6	
E015	Investigación en Cambio Climático Sustentabilidad y Crecimiento Verde					195.0	0.4	178.6	0.4	157.8	0.4	138.1	0.4	
G030	Normativa Ambiental e Instrumentos para el Desarrollo Sustentable					29.9	0.1	12.2	0.0	20.3	0.1	9.5	0.0	
P002	Planeación Dirección y Evaluación Ambiental	1.0	0.0	0.7	0.0	113.9	0.3	122.6	0.3	96.2	0.2	34.8	0.1	

Continúa...



Ramo / Programa presupuestario <sup>1</sup>	PEF-2013		CHPF-2013		PEF-2016		CHPF-2016		PEF-2019		CHPF-2019	
	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %
U012	550.4	1.6	980.5	2.5	707.4	1.6	0.0	0.0				
S217									2 000.0	5.1	2 599.2	7.4
S046	217.4	0.6	226.2	0.6	234.9	0.5	259.6	0.6	181.3	0.5	219.7	0.6
S071					607.4	1.4	604.7	1.5				
K138	551.5	1.6	151.4	0.4								
U035					44.4	0.1	30.6	0.1	87.7	0.2	0.0	0.0
U025	109.5	0.3	33.5	0.1								
U024	20.7	0.1	23.7	0.1								
U022					5.3	0.0	4.1	0.0				
U036	2 530.0	7.3	1 035.5	2.6								
N001	193.0	0.6	488.6	1.2								
G026					0.9	0.0	1.5	0.0	0.7	0.0	0.2	0.0
K134	1 481.9	4.3	875.4	2.2								
E014					2 282.2	5.1	1 871.9	4.6	1 390.6	3.6	1 214.5	3.5
G003					64.4	0.1	50.7	0.1	60.4	0.2	54.1	0.2

Continúa...

Ramo / Programa presupuestario <sup>1</sup>	PEF-2013		CHPF-2013		PEF-2016		CHPF-2016		PEF-2019		CHPF-2019	
	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %
G013	253.2	0.7	185.8	0.5	193.4	0.4	137.8	0.3	98.4	0.3	175.3	0.5
S218	2785.9	8.1	2138.8	5.4	2462.7	5.5	2047.8	5.0				
18	688.2	2.0	1126.5	2.8	987.6	2.2	853.4	2.1	826.6	2.1	926.1	2.6
M001	4.8	0.0	3.9	0.0	4.9	0.0	3.5	0.0	2.3	0.0	2.4	0.0
P001	208.4	0.6	644.9	1.6	240.1	0.5	249.0	0.6	166.5	0.4	179.0	0.5
P002	90.2	0.3	104.6	0.3	103.0	0.2	95.3	0.2	45.1	0.1	46.1	0.1
P003					127.4	0.3	95.3	0.2	67.8	0.2	65.3	0.2
R002					441.6	1.0	342.8	0.8	483.9	1.2	575.3	1.6
R003	300.0	0.9	300.0	0.8								
E009	27.7	0.1	23.6	0.1								
P008	21.0	0.1	17.1	0.0	70.7	0.2	67.5	0.2	60.9	0.2	57.9	0.2
F012	23.2	0.1	20.3	0.1								
G007	12.7	0.0	12.2	0.0								
20	49.8	0.1	0.0	0.0								
S237	49.8	0.1	0.0	0.0								
21	0.7	0.0	0.6	0.0	0.7	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0

Continúa...

Ramo / Programa presupuestario <sup>1</sup>	PEF-2013		CHPF-2013		PEF-2016		CHPF-2016		PEF-2019		CHPF-2019	
	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %
P001	0.7	0.0	0.6	0.0	0.7	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0
23	5 830.8	16.9	10 504.6	26.4	8 394.7	18.9	15 406.7	37.6	3 824.9	9.8	5 311.0	15.2
N001	5 507.9	16.0	10 400.3	26.2	8 036.0	18.0	15 201.4	37.1	3 644.0	9.3	5 130.0	14.7
N002	322.9	0.9	104.3	0.3	358.7	0.8	205.3	0.5	180.9	0.5	180.9	0.5
38	0.2	0.0	0.2	0.0	250.5	0.6	230.5	0.6	223.0	0.6	229.4	0.7
E007	0.2	0.0	0.2	0.0	5.0	0.0	4.9	0.0				
S190					105.5	0.2	104.8	0.3	106.0	0.3	108.7	0.3
U003					140.1	0.3	120.8	0.3				
E003									117.0	0.3	120.7	0.3
47					115.0	0.3	116.8	0.3	64.8	0.2	64.8	0.2
S249					115.0	0.3	116.8	0.3	64.8	0.2	64.8	0.2
	3 534.0	10.2	3 698.4	9.3	478.0	1.1	367.4	0.9	1 475.8	3.8	287.9	0.8
E012	3 534.0	10.2	3 698.4	9.3								
K027					37.0	0.1	0.0	0.0				
K002					441.0	1.0	367.4	0.9	1 475.8	3.8	287.9	0.8
	45.4	0.1	32.6	0.1	608.7	1.4	190.2	0.5	11 693.0	29.9	13 994.9	40.0

Continúa...

Ramo / Programa presupuestario <sup>1</sup>	PEF-2013		CHPF-2013		PEF-2016		CHPF-2016		PEF-2019		CHPF-2019	
	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %	Monto	Distribución %
K027									466.6	1.2	384.7	1.1
F571	45.4	0.1	32.6	0.1	2.1	0.0	5.0	0.0	1.4	0.0	2.8	0.0
K001					15.4	0.0	23.8	0.1				
K044					591.3	1.3	161.5	0.4	89.3	0.2	71.5	0.2
E584									11 135.8	28.5	13 535.9	38.7

<sup>1</sup> En el periodo 2013-2020 diversos programas presupuestarios cambian de denominación. La integración de la tabla se basa en las claves presupuestarias correspondientes.

<sup>2</sup> Hasta 2018 se denominó Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

<sup>3</sup> Hasta 2018 se denominó Desarrollo Social.

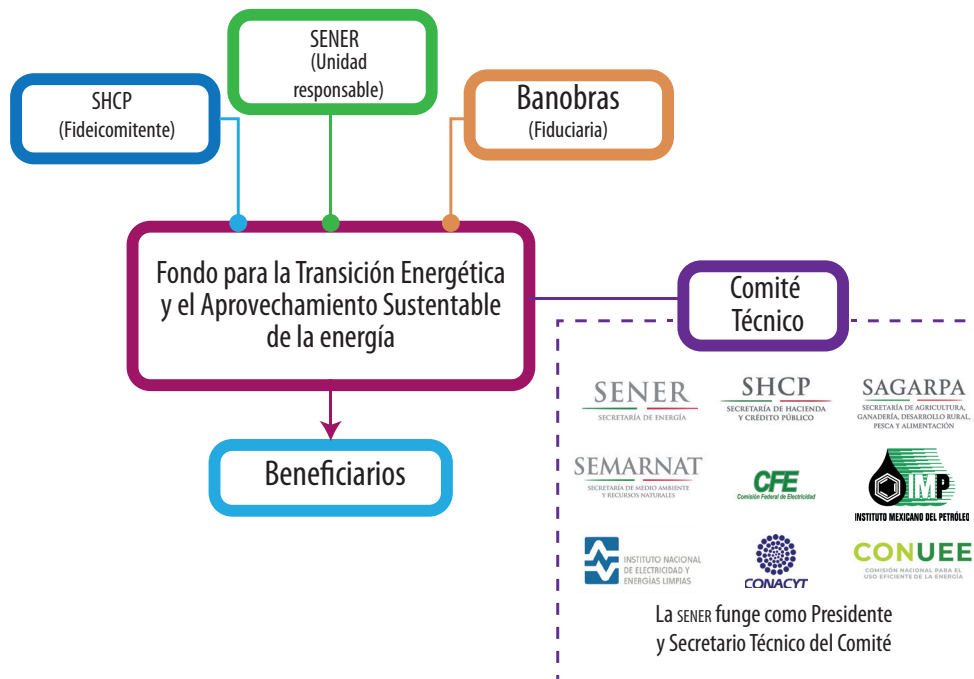
Fuente: elaborado con información del PEF y la CHPF 2013, 2016 y 2019, SHCP.

## El Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía

Con base en el artículo 27 de la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética se creó el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE), con el objetivo de impulsar el sector energético nacional a través de proyectos, programas y acciones, encaminadas al logro de un mayor uso y aprovechamiento de fuentes de energía renovable y tecnologías limpias (SENER, 2013). En su origen se consideró que dicho impulso al sector energético se lograría mediante el otorgamiento de garantías de crédito u otro tipo de apoyos financieros para proyectos o acciones que sirvieran para contribuir al cumplimiento de los objetivos de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (SENER, 2014; 2016; 2020).

En la operación del FOTEASE se constituyó un fideicomiso público con recursos provenientes del PEF, los cuales están encaminados a otorgar apoyos de carácter recuperable y no recuperable, incluyendo garantías de crédito u otro tipo de apoyo financiero a los proyectos que permitan instrumentar acciones que sirvan para contribuir al uso eficiente de la energía. Asimismo, la citada Ley estableció la integración de un Comité Técnico (ver figura 6), conformado por representantes de diversas dependencias de la APF y presidido por la SENER, como el órgano responsable de acordar de manera colegiada la utilización de recursos no recuperables a proyectos que cumplan con los objetivos y requisitos establecidos en su normatividad (SENER 2018; 2014).

Figura 6. Estructura del Fideicomiso de Administración y de su Comité Técnico



Fuente: tomado de Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE), SENER (2018).

La Ley de Transición Energética publicada en el DOF en diciembre de 2015, abroga la LAERFTE y establece en su Capítulo II, artículo 48, que los fondos que la APF destine para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía tendrán por objeto captar y canalizar recursos financieros públicos y privados, nacionales e internacionales, para instrumentar acciones que sirvan para contribuir al cumplimiento de la Estrategia y apoyar programas y proyectos que diversifiquen y enriquezcan las opciones para el cumplimiento de las Metas en materia de Energía Limpias y Eficiencia Energética, así como los demás objetivos de la Ley y los objetivos específicos de los instrumentos de planeación (SENER, 2016a).

De acuerdo con el último informe del FONTEASE (SENER, 2020), los recursos aportados por el FONTEASE comienzan en 2008 con contribución inicial de 600.0 mdp para el desarrollo de proyectos; a partir de ese año se han recibido recursos del PEF de forma anual (ver cuadro 2). Adicionalmente a los recursos provenientes del PEF, el FONTEASE ha recibido recursos provenientes del donativo TF-19403 suscrito con el Banco Mundial en el marco del Mecanismo de Fondo revolvente para el Financiamiento del Proyecto GEF-SENER *Sustainable Energy Technologies for Climate Change*; desde 2016 a la fecha ha logrado recuperar 240.1 mdp.<sup>5</sup>

5 El Fideicomiso ha registrado recursos adicionales recibidos por su cuenta productiva y por el reintegro de los saldos a la conclusión de cada uno de los proyectos.

Fotografía: ©Surasak | AdobeStock



**Cuadro 2. Recursos recibidos por el FONTEASE, 2008-2019 (millones de pesos corrientes)**

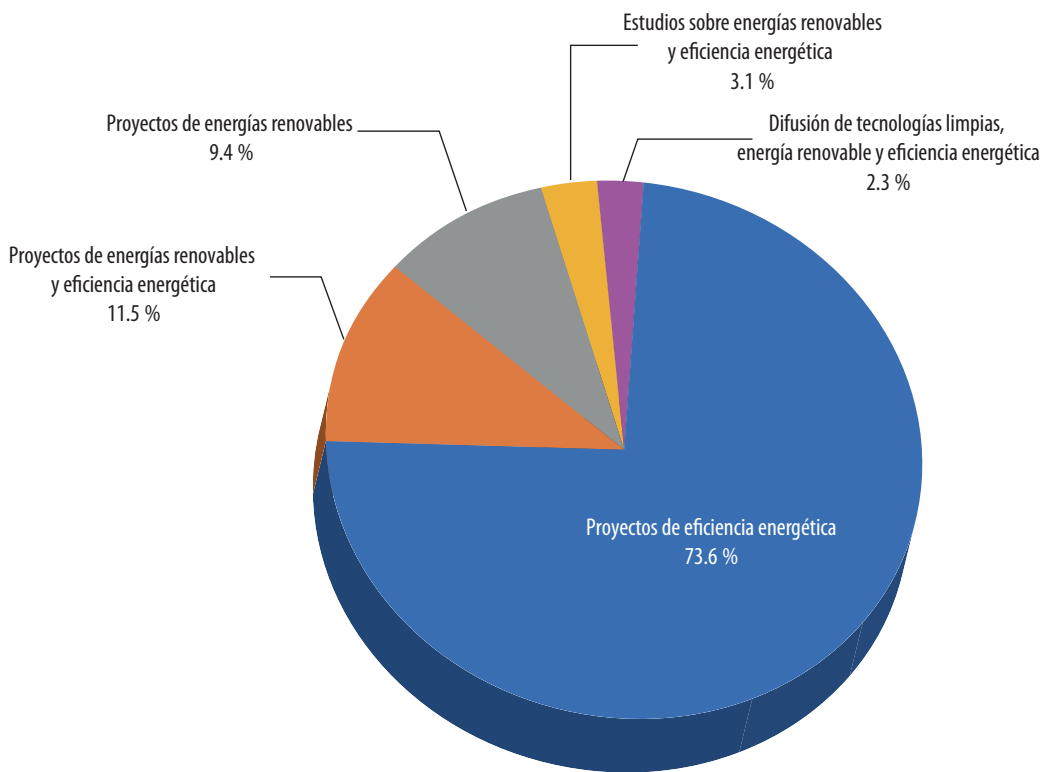
Año	Presupuesto otorgado
2008	600.0
2009	47.7
2010	1 972.7
2011	1 845.1
2012	1 443.2
2013	300.0
2014	1 030.3
2015	420.3
2016	263.6
2017	384.8
2018	468.4
2019	483.9

Fuente: elaborado con información de SENER (2020).

Desde la creación del FONTEASE se han apoyado un total de 53 proyectos, de los cuales 18 aún se encontraban vigentes a la conclusión de 2019 y 6 remitieron de forma satisfactoria sus informes de conclusión y terminaron su operación técnica y financiera en el transcurso de 2019 (ver cuadro 3); mientras que los 29 restantes concluyeron su etapa operativa y financiera entre 2009 y 2018 (ver cuadro 4).

Finalmente, en este informe se señala que los recursos asignados por el Comité a los 53 proyectos autorizados desde la creación del FONTEASE se distribuyen en cinco categorías, siendo los Proyectos de eficiencia energética los que han recibido mayor apoyo económico (ver figura 7).

**Figura 7. Asignación de recursos del FONTEASE por tipo de proyecto**



Fuente: elaborado con información de SENER (2020).

**Cuadro 3. Proyectos con apoyo financiero del FONTEASE vigentes en 2019 (millones de pesos corrientes)**

Vigencia/Denominación	Implementador	Beneficiarios	Monto aprobado	
<b>Programas vigentes a la conclusión del 2019</b>				
1	Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en el Alumbrado Público Municipal	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía	Cualquier municipio del país puede solicitar su incorporación, siempre y cuando cumpla con los requisitos establecidos en el Programa	264.2 mdp
2	Programa Eco-Crédito Empresarial Masivo	Fideicomiso para el Ahorro de la Energía	Personas físicas en régimen de incorporación fiscal, pequeños contribuyentes, personas físicas con actividad empresarial o personas morales bajo tarifas 2, 3 y 0M del servicio de energía eléctrica de los sectores industrial, comercial y de servicios que cumplan con los requisitos de elegibilidad. Las tasas de apoyo dependen del crédito contratado y de la tecnología adquirida	333.3 mdp
3	Proyecto de elaboración de estudios sobre potencial de recursos renovables	Dirección General de Energías Limpias, Secretaría de Energía	Secretaría de Energía / Comisión Federal de Electricidad / Instaladores de plantas de energías renovables	72.7 mdp
4	Mecanismo de Fondo revolvente para el Financiamiento del Proyecto GEF-SENER	Dirección General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Formación de Recursos Humanos (DGIDTFRH), Secretaría de Energía	Proyectos seleccionados como ganadores en las diferentes etapas	224.7 mdp
5	Calor Solar en el Sector Servicios	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía / Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) / Banco de Comercio Exterior	Inicialmente se trabajó con el sector hotelero de la Península de Yucatán, ahora se incluyó todo el sector servicios del país	26.0 mdp
6	Apoyo a la Generación Distribuida	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica	Instalaciones para usuarios del sector residencial de Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC), usuarios del sector MiPyMES para Sistemas Fotovoltaicos, sector industrial, comercial y de servicios (sistemas de cogeneración eficiente y granjas solares)	59.7 mdp

Continúa...



Vigencia/Denominación		Implementador	Beneficiarios	Monto aprobado
7	Atlas Eólico Mexicano	Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL), con la participación de la Universidad Técnica de Dinamarca en el contexto del convenio de cooperación	Cualquier interesado podrá identificar con mayor detalle los lugares en los que pudiera desarrollar futuros proyectos de generación eoloeléctrica en pequeña, mediana y gran escala	62.4 mdp
8	Financiamiento para Acceder a Tecnologías de Energías Renovables de Generación Eléctrica Distribuida	Iniciativa Climática de México	Usuarios finales potenciales (sector rural y/o agricultura, doméstico, industrial, servicios y sector público) mediante el incremento en la cartera de crédito del sector financiero hacia los implementadores de proyectos	30.7 mdp
9	Instalación de Celdas Fotovoltaicas en Escuelas de Educación Básica	Secretaría de Educación y Cultura del Gobierno del Estado de Quintana Roo	Veinte escuelas de educación básica del Estado de Quintana Roo	16.0 mdp
10	Programa de Mejoramiento Sustentable en Vivienda Existente	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)	Viviendas del país con tecnologías de sistemas fotovoltaicos,, calentadores a gas eficientes, calentadores solares de agua, aislamiento térmico, impermeabilizantes, acabados reflectivos en techos y muros, equipos de aires acondicionados eficientes, ventanas térmicas y películas de control solar, lámparas LED y ventiladores de techo	38.7 mdp
11	Proyecto de Eficiencia y Sustentabilidad Energética en Municipios, Escuelas y Hospitales (PRESEMEH)	Dirección General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Formación de Recursos Humanos (DGIDFRH), Secretaría de Energía	Principales municipios de las entidades de la República Mexicana	224.7 mdp
12	Proyecto para la Promoción de Electro-movilidad a través de la Inversión en Infraestructura de Recarga	Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) de la CFE	Usuarios de vehículos eléctricos e híbridos	25.2 mdp
13	Juchitán Sustentable	Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias (INEEL)	Usuarios de la tarifa 1C (doméstica) del Municipio de Juchitán	115.1 mdp

Continúa...

Vigencia/Denominación		Implementador	Beneficiarios	Monto aprobado	
14	Programa de Eficiencia Energética en Edificios de Oficinas de la Administración Pública Federal	Dirección General de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Formación de Recursos Humanos de la Secretaría de Energía / Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía	Edificios de la APF	115.2 mdp	
15	Implementación de un sistema eléctrico renovable y sustentable en Punta Allen, Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an, Quintana Roo	Secretaría de Desarrollo Social del Gobierno del Estado de Quintana Roo	La comunidad de Punta Allen, en el municipio de Tulum, en Quintana Roo	26.7 mdp	
16	Piloto de Programa Bono Solar	Iniciativa Climática de México	635 usuarios residenciales subsidiados con techos solares	15.0 mdp	
17	Ilumínate, Sol para todos	Asociación Mexicana de Energía Solar	Tres mil familias de municipios marginados de Chihuahua y Chiapas	1.0 mdp	
18	Valorización de fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU) mediante carbonización hidrotermal	Instituto de Ingeniería de la UNAM	Habitantes de la Ciudad de México	150.0 mdp	
<b>Con operación técnica y financiera finalizada en 2019</b>					
24	1	Logística y Estrategia del Abastecimiento de Biomasa, para la Central Termoeléctrica Petacalco	Cifra 2 Consultores s.c.	Central Termoeléctrica Petacalco	2.4 mdp
	2	Proyecto para mejorar la eficiencia de los servicios públicos municipales en el Istmo de Tehuantepec	Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía	Municipios de la Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza y El Espinal, Oaxaca	37.4 mdp
	3	Proyecto de Co-generación de Energía para Autoabastecimiento, utilizando biomasa forestal combustible	ZEPEMIN A.R. de I.C. (Grupo SEZARIC, Silvindustria Emiliano Zapata, Asociación Rural de Interés Colectivo)	Veintinueve ejidos y once comunidades rurales del Estado de Durango	13.1 mdp

Continúa...

Vigencia/Denominación		Implementador	Beneficiarios	Monto aprobado
4	Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares	Dirección General de Eficiencia y Sustentabilidad Energética / Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía / Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi)	Público en general	20.0 mdp
5	Diseño y estructuración de instrumentos financieros para el desarrollo de inversión privada en proyectos de geotermia	Nacional Financiera, S.N.C.	Generadores de energía geotérmica	150.0 mdp
6	Jardín solar fotovoltaico de 0.48 MW en la U.T.M. interconectado a red eléctrica de CFE	Universidad Tecnológica Mixteca	Campus universitario y estudiantado	21.6 mdp

Fuente: elaborado con información de SENER (2020).

#### Cuadro 4. Proyectos con apoyo financiero del FONTEASE concluidos entre 2009 y 2018

Con etapa operativa y financiera concluida 2009-2018	
1	Programa Nacional de Sustitución de Equipos Electrodomésticos para el Ahorro de Energía
2	Proyecto piloto de sustitución de focos para el ahorro de energía
3	Proyecto Servicios Integrales de Energía
4	Bioeconomía 2010
5	Proyecto de elaboración de programáticos y acciones de mitigación
6	Proyecto denominado Programa Luz Sustentable
7	Proyecto de Iluminación Rural ILMEXICO 2011-2012
8	Evaluación del Proyecto denominado Programa Nacional de Sustitución de Equipos Electrodomésticos para el Ahorro de Energía para dos electrodomésticos: refrigeradores y aires acondicionados
9	Iniciativa para el desarrollo del sector eólico en México y de energías renovables
10	Proyecto Piloto de Aislamiento Térmico para Viviendas en la Cd. de Mexicali, B. C.
11	Proyecto para la ejecución de donativos y préstamos del Banco Mundial ejecutados por la SENER
12	Proyecto denominado Programa Luz Sustentable Segunda Etapa
13	Proyecto Ecofilm Festival 2012
14	Proyecto Balón de Luz
15	Desarrollo de un protocolo para proyectos de eficiencia energética en proceso de combustión en la industria, tanto en el sector público como privado
16	Segundo estudio potencial eólico en México

Continúa...

Con etapa operativa y financiera concluida 2009-2018

17	Proyectos Integrales de Geofísica para el Desarrollo de Prefactibilidad de Zonas Geotérmicas Estratégicas de CFE
18	Programa Piloto: sustitución de lámparas incandescentes por LFCAS en localidades de hasta 100 000 habitantes en Michoacán
19	Programa Piloto: sustitución de lámparas incandescentes por LFCAS en localidades de hasta 100 000 habitantes en los Estados de Chihuahua, Sonora y Guerrero
20	Programa Nacional de sustitución de lámparas incandescentes por LFCAS en localidades de hasta 100 000 habitantes
21	Educación aplicada para la integración de proyectos de energía limpia en alianza con Universidades estatales y Tecnológicos federales
22	Por un Estado Verde, Sustitución del Parque Vehicular a Gasolina por Vehículos Cero Emisiones 100% Eléctricos e instalación de paneles solares
23	Proyecto Solar del SUTERM
24	Implementación del Programa de Electrificación para Centros Ecoturísticos No Conectados al Sistema Eléctrico Nacional a través de Energías Renovables
25	Energía Sonora PPE, S. C.
26	Impulso a la energía solar FV de gran escala en el nuevo mercado eléctrico
27	Parque Fotovoltaico Bicentenario en Victoria. Sistema de Producción de Energía Eléctrica
28	Modelo de electrificación de procesos productivos en comunidades y zonas rurales aisladas con fuentes de energía renovables
29	Proyecto Integral Estatal-Municipal de Sustentabilidad-Eficiencia Energética y Ahorros Financieros para Tabasco

Fuente: elaborado con información de SENER (2020).



## Conclusiones

La transición hacia un modelo energético bajo en carbono y de alcance universal, está reconocida en los Objetivos de Desarrollo Sostenible, aprobados en 2015 por los países miembros de las Naciones Unidas. La Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2020), define 17 objetivos que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medio ambiente o el diseño de nuestras ciudades, entre otros.<sup>6</sup>

El avance en el ámbito de la energía sostenible no está a la altura de lo necesario para lograr su acceso universal, ni el objetivo de energía asequible y no contaminante.<sup>7</sup> En este sentido, la ONU reconoce como indispensable aumentar el uso de energías renovables a través de mayor financiamiento de políticas públicas más ambiciosas, que permitan adoptar tecnologías limpias en una escala mucho más amplia.

Al respecto, autores como Fernández (2020) señalan que, para acelerar la transición energética, se requiere impulsar diversos factores; entre los que se encuentran: la reducción de las reservas de petróleo de fácil acceso y bajo costo; los avances tecnológicos y la reducción masiva de costos de energías renovables como la eólica y la solar; y, el avance de los acuerdos internacionales y de las políticas de un número importante de países que han decidido combatir el cambio climático reduciendo sus emisiones de gases de efecto invernadero.

Por lo revisado en el presente documento, podemos concluir que si bien el país cuenta con instrumentos normativos que obligan a incluir anexos en el presupuesto público donde concurren Programas Presupuestarios, componentes de éstos y/o Unidades Responsables, cuyos recursos son destinados a obras, acciones y servicios vinculados con el desarrollo de diversos sectores, entre ellos la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y la Mitigación de los efectos del Cambio Climático; lo cierto es que su implementación ha sido ambigua y poco precisa respecto a la metodología que se sigue para etiquetar y aplicar los recursos federales para la transición energética y la mitigación de los efectos del cambio climático.

Lo anterior se hace evidente cuando se observa que cada año hay cambios en los programas presupuestarios incluidos en los Anexos Transversales, sin estar vinculados a objetivos específicos o, incluso, integrar programas cuya implementación podría tener un efecto contrario. Por tanto, conseguir que el presupuesto público tenga una verdadera incidencia para lograr una correcta implementación de la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y avanzar en áreas clave para la Adaptación y Mitigación de los efectos del Cambio Climático, requiere que durante el proceso de planeación del presupuesto de egresos se utilice un diagnóstico claro de las diferentes realidades y avances que enfrentan las regiones, las entidades federativas y las dependencias y/o instituciones de investigación en materia de energía. De forma que las acciones y programas que formen parte del Anexo estén centradas en alcanzar las metas determinadas a nivel de ley y cumplir con objetivos de acuerdos internacionales suscritos por el país.

6 Los 17 objetivos son: 1. Fin de la pobreza; 2. Hambre cero; 3. Salud y bienestar; 4. Educación de calidad; 5. Igualdad de género; 6. Agua limpia y saneamiento; 7. Energía asequible y no contaminación; 8. Trabajo decente y crecimiento económico; 9. Industria, innovación e infraestructura; 10. Reducción de las desigualdades; 11. Ciudades y comunidades sostenibles; 12. Producción y consumo responsables; 13. Acción por el clima; 14. Vida submarina; 15. Vida de ecosistemas terrestres; 16. Paz, justicia e instituciones sólidas; y, 17. Alianzas para lograr los objetivos. Información consultada en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>.

7 El 13% de la población mundial no tiene acceso a los servicios modernos de electricidad; tres mil millones de personas dependen de la madera, el carbón, el carbón vegetal o los desechos de origen animal para cocinar y calentar la comida; la contaminación del aire en locales cerrados, causada por la quema de combustibles para generar energía, ocasionó 4.3 millones de muertes en 2012; y la generación de energía es el factor que contribuye principalmente al cambio climático y representa cerca de 60% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero.

## Referencias

Diario Oficial de la Federación (19 de enero, 2012). Decreto por el que se adicionan diversas disposiciones a los artículos 2, 23, 27, 28, 41, 58, 85, 107 y 111; y se reforma el artículo 110, de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5230359&fecha=19/01/2012](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5230359&fecha=19/01/2012).

\_\_\_\_\_. 8 de julio, 2020. Programa Sectorial de Energía 2020-2024. Secretaría de Energía. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5596374&fecha=08/07/2020).

Fernández Bremauntz, Adrián. (2020). México: ¿Transición o Regresión Energética? *Revista Este País*, sección Medio Ambiente. Recuperado de <https://ceiba.org.mx/afb-transicion-o-regresion-energetica/>.

Guzmán Luna, Sandra Leticia, Rodríguez Martínez, Gabriela y Mejía Silva, Carola. (2018). *Análisis de Presu-*

*puesto Internacional y Nacional Público para Cambio Climático*. Grupo de Financiamiento Climático para América Latina y el Caribe, Proyecto Alianza Mexicana Alemana de Cambio Climático. Publicado por Detusche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Morales Cisneros, Gabriela, Pérez Benítez, Noel, Maya Hernández, Sandra Oralia y Ortega Olvera, Víctor. (2015). *Aspectos Relevantes de la Estructura Programática para el Proyecto de Presupuesto de Egresos 2016*. Dirección General de Finanzas del Instituto Belisario Domínguez. Recuperado de [http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/3135/estructura\\_programatica2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/3135/estructura_programatica2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

Organización de las Naciones Unidas. (2020). Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>.



Secretaría de Energía. (2014). *Estrategia Nacional de Transición Energética y Aprovechamiento Sustentable de la Energía*. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/documentos/estrategia-nacional-de-transicion-energetica-y-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia>.

\_\_\_\_\_. (2013). Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Programa Sectorial de Energía. Recuperado de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/213/PROSENER.pdf>.

\_\_\_\_\_. (2016). Estrategia de Transición para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/182202/20161110\\_1300h\\_Estrategia\\_CCTE-1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/182202/20161110_1300h_Estrategia_CCTE-1.pdf).

\_\_\_\_\_. (2018). Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEA-SE). Boletín de Eficiencia Energética, No. 07, Dirección General de Eficiencia y Sustentabilidad. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416892/BolEfEner\\_nov.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/416892/BolEfEner_nov.pdf).

\_\_\_\_\_. (2016a). Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEA-SE). Informe Cero, 2009-2015. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/articulos/el-fondo-para-la-transicion-energetica-y-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-es-un-instrumento-de-politica-publica-de-la-secretaria>.

\_\_\_\_\_. (2020). Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Informe Tres 2019. Recuperado de <https://www.gob.mx/sener/articulos/el-fondo-para-la-transicion-energetica-y-el-aprovechamiento-sustentable-de-la-energia-es-un-instrumento-de-politica-publica-de-la-secretaria>.

Tornel, Carlos, Olivera, Beatriz y de la Fuente, Aroa (s.f.). La lucha contra el cambio climático requiere el impulso de las energías renovables. En *Financiando el cambio sin cambiar el clima*. Recuperado de [https://fundar.org.mx/mexico/pdf/Onepgs\\_Energetico.pdf](https://fundar.org.mx/mexico/pdf/Onepgs_Energetico.pdf).

## Fuentes de consulta

Cuenta de la Hacienda Pública Federal (CHPF) de 2012 a 2018. Recuperado de [https://www.finanzaspublicas.hacienda.gob.mx/es/Finanzas\\_Publicas/Cuenta\\_Publica](https://www.finanzaspublicas.hacienda.gob.mx/es/Finanzas_Publicas/Cuenta_Publica).

cas.hacienda.gob.mx/es/Finanzas\_Publicas/Cuenta\_Publica.

Diario Oficial de la Federación. (12 de diciembre, 2011). Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal de 2012. Recuperado de [https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/work/models/PTP/Presupuesto/DecretosPEF/Decreto\\_PEF\\_2012.pdf](https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/work/models/PTP/Presupuesto/DecretosPEF/Decreto_PEF_2012.pdf).

Diario Oficial de la Federación. (27 de diciembre, 2012). Decreto de Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal de 2013. Recuperado de [https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/work/models/PTP/Presupuesto/DecretosPEF/Decreto\\_PEF\\_2013.pdf](https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/work/models/PTP/Presupuesto/DecretosPEF/Decreto_PEF_2013.pdf).

Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Gobierno de la República. Recuperado de [https://www.snieg.mx/contenidos/espanol/normatividad/MarcoJuridico/PND\\_2013-2018.pdf](https://www.snieg.mx/contenidos/espanol/normatividad/MarcoJuridico/PND_2013-2018.pdf).

Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) de 2012 a 2020. Recuperado de [https://www.finanzaspublicas.hacienda.gob.mx/es/Finanzas\\_Publicas/Paquete\\_Economico\\_y\\_Presupuesto](https://www.finanzaspublicas.hacienda.gob.mx/es/Finanzas_Publicas/Paquete_Economico_y_Presupuesto).

## Leyes y Reglamentos

Ley de Transición Energética. Recuperado de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/>.

Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria. Recuperado de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/>.

Ley General de Cambio Climático. Recuperado de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/>.

Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Recuperado de <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/>.

Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. (Ley Abrogada, DOF 24-12-2015). Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/laerfte/LAERFTE\\_abro.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/laerfte/LAERFTE_abro.pdf).

Reglas de Operación del Fideicomiso Público de Administración y Pago denominado Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Recuperado de [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5331192&fecha=30/01/2014](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5331192&fecha=30/01/2014).

# Cambio climático: una amenaza latente para México

Fotografía: ©lavizzara | AdobeStock

30

LA ESPECIE HUMANA HA TENIDO, TIENE Y MUY PROBABLEMENTE tendrá el mayor dominio sobre nuestro planeta. A través del desarrollo de nuestra conciencia y conocimiento —más los medios para transmitirlo a otras generaciones— hemos acabado con la mayoría de los peligros que nos podrían extinguir como especie en un entorno natural: ya no tenemos depredadores, hemos minimizado el impacto de las enfermedades y nuestro sistema de provisión de alimentos supera con creces nuestras necesidades calóricas. No obstante, no estamos a salvo.


En el camino de nuestro desarrollo, modificamos el entorno que nos rodea de manera profunda. Talamos bosques y selvas, pavimentamos nuestras ciudades, creamos nuevas sustancias químicas y eliminamos de la faz de la tierra a un sinnúmero de otras especies, calentamos nuestro planeta con gases de efecto invernadero y llenamos de basura porciones gigantes del mar y la tierra. Actualmente hemos alcanzado un punto crítico de deterioro ambiental y la crisis a la que nos enfrentamos no tiene precedente en la historia de la humanidad, al punto que podría representar un riesgo para nuestra propia existencia.

Uno de los componentes del deterioro es el cambio climático. Se trata de una modificación de los



Guillermo N.  
Murray Tortarolo

Estudió la Licenciatura en Ciencias Ambientales en la UNAM, campus Morelia. Continuó sus estudios con la maestría en Ciencias Biológicas en la UNAM y posteriormente un doctorado en matemáticas en la Universidad de Exeter, Reino Unido. Tiene además dos posdoctorados, uno por parte de la Universidad de Exeter y otro en la UNAM. Actualmente es Investigador en el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas.

 <http://www.iies.unam.mx/investigacion/perfiles-investigadores/guillermo-murray-tortarolo/>



patrones normales de variación en el clima (temperatura, precipitación, estacionalidad, por mencionar algunos), con consecuencias inmediatas y de largo plazo. Uno de los resultados es en una mayor cantidad de eventos climáticos extremos, tales como sequías, inundaciones, o huracanes. Los mismos suponen una presión fundamental para nuestros sistemas de provisión de alimentos, la disponibilidad de agua potable y la misma salud humana.

México es particularmente vulnerable frente al cambio climático. Su localización geográfica, sus condiciones socioeconómicas y su historia agrícola, lo ponen en el riesgo más alto frente a una modificación global en el clima. En este artículo te contaré, de manera breve, la situación de nuestro país frente a este riesgo y las posibilidades para hacerle frente.

## Principios del cambio climático: atmósfera y vida

Antes de poder hablar de los impactos y los riesgos del cambio climático en México es importante entender qué es exactamente este fenómeno y la influencia que tenemos los seres humanos sobre él. Para eso, es necesario remontarnos ligeramente en el tiempo, nada más hasta los inicios de nuestro planeta y su atmósfera, para luego volver de manera veloz a nuestro momento actual.

En el comienzo de la Tierra —hace 4.500 millones de años— todo era fuego y lava, el planeta en formación era golpeado constantemente por impactos meteóricos, que lo mantenían ardiendo. Pero las cosas se empezaron a enfriar y con eso, comenzó a formarse agua líquida en la superficie. Te imaginas, debió haber sido un gran espectáculo, pasar del fuego a un diluvio de millones de años. Este enfriamiento y la importante actividad volcánica de la época dieron paso a la formación de la primera atmósfera. Poco después, surgieron los primeros seres vivos en la sopa primigenia y la maquinaria evolutiva comenzó a andar. ¿Por qué te cuento todo esto? Porque pronto descubrirás, que la atmósfera, el clima y la vida están estrechamente ligadas.

Sin atmósfera, nuestro planeta sería 15 grados más frío. Con esa ligera diferencia, no existiría agua líquida y, en lugar de un bonito planeta azul, nos encontraríamos con una bola de nieve completamente muerta. Por suerte, nuestro aire está

lleno de dióxido de carbono, metano y vapor de agua, quienes se encargan de atrapar parte de la radiación que se quiere escapar del planeta y lo mantienen calentito y agradable. También tenemos mucho oxígeno, en forma de ozono, que nos protege de la radiación más dañina del sol. Curiosamente, ningún otro planeta de nuestro sistema solar tiene una composición química similar en su atmósfera... ¡porque ningún otro tiene vida! Así como lo oyes, la vida, en todas sus formas, modifica la atmósfera.

Supongo que para muchos no es sorprendente el pensar en los árboles como una fuente de oxígeno y vapor de agua, o en los seres humanos como emisores de dióxido de carbono. Pero así también las bacterias microscópicas, las algas, los hongos y los animales emiten y consumen estos gases de efecto invernadero, llevando a un balance global, a una estabilidad química, radiativa y energética, necesaria para su propia existencia. Este equilibrio se logró durante muchos millones de años, y es justamente el que amenazamos los humanos con nuestras actividades industriales.

Los seres humanos hemos modificado la atmósfera con dos grandes acciones: la quema de combustibles fósiles y la deforestación. En primer lugar, con el desarrollo de nuestras actividades industriales, comenzamos a quemar cada vez más y más carbón, gas y petróleo —los llamados combustibles fósiles—. Estos, se componen de carbono que estuvo en la atmósfera hace muchos millones de años, pero que fue capturado por la vegetación y posteriormente se depositó en el subsuelo. En el momento en que dicho carbono andaba libre, la Tierra era mucho más caliente y fueron justamente los organismos fotosintéticos los que se encargaron de enfriarla, al removerlo. Ahora, regresándolas a la atmósfera, alteramos su concentración: duplicando el dióxido de carbono y triplicando el metano. No felices con ello, también dimos paso a talar muchísimos árboles por todos lados, aumentando aún más dichas emisiones.

Si me has seguido hasta ahora, podrás entrever el peligro que implica el modificar la composición química de la atmósfera como lo hemos hecho. Si alteramos el aire, se modifica el balance energético global y con ello, las relaciones entre clima y vida. Pero permíteme explicarlo un poco más y te cuento exactamente como nos percatamos de esto y la premura por modificar los patrones de emisiones actuales.



Fotografía: © Imago Photo | AdobeStock

## Un planeta caliente: mucho más caliente

32

Para terminar de ligar los tres conceptos —atmósfera, temperatura y vida— te comento un poco del balance energético de nuestro planeta. No toda la energía que llega del Sol se absorbe en la Tierra. Una parte rebota en las nubes y en la capa de ozono. La fracción que si es absorbida se utiliza para calentar nuestro planeta y después se emite de regreso. No obstante, no toda se escapa. Ciertos gases, absorben una fracción y la emiten de regreso a la superficie. Se genera un *pin-pon* energético cuyo resultado es elevar la temperatura planetaria. El caso extremo de este baile radiativo es Venus, que se calienta 300 grados por encima de lo esperado sólo por la radiación solar incidente, gracias a sus gases atmosféricos. Este es el llamado efecto invernadero.

Como ya te habrás imaginado, los responsables de dicho calentamiento son justamente los gases que estamos emitiendo a la atmósfera. Así, cada gramo de dióxido de carbono, metano u óxidos de nitrógeno emitidos por nuestras actividades se traducen en un aumento proporcional de energía recibida y por lo tanto de temperatura. Y hemos disparado muchos, muchísimos gases de efecto invernadero a la atmósfera, poniendo en peligro el clima global al aumentar arriesgadamente su temperatura.

Sólo para que te des una idea, en el último siglo, el aumento promedio en la temperatura fue de 1°C. Con esto hemos registrado un derretimiento del 30-50% de todos los glaciares mundiales, un aumento en el nivel del mar de 70cm, un aumento en la frecuencia de huracanes categoría 5 en el Atlántico, las peores sequías en México en 100 años (en particular la larguísima y terrible sequía de 2011), un aumento en el fenómeno del niño, incendios masivos en distintas partes del mundo —California, Australia y Rusia, por mencionar algunas regiones—, una expansión de enfermedades tropicales como la malaria, una disminución en los rendimientos de cultivos de temporal, por mencionar algunos impactos... y eso es sólo un grado. ¿Te imaginas lo que podría pasar con 4-5°C de aumento pronosticados para los próximos 80 años? Yo no lo quiero ni pensar.

Por supuesto que no todos los lugares van a sufrir igual. Ciertas regiones son más vulnerables a los envistes del cambio climático que otras, y algunas hasta pueden resultar beneficiadas (aunque son muy pocas). Los factores que influyen son muchos: localización geográfica, población, tipo de actividad económica, modelo de desarrollo, por mencio-

nar algunas. Por ejemplo, las Islas de Papúa Nueva Guinea, ya han comenzado a sufrir el aumento en el nivel del mar, perdiendo importantes secciones de su territorio y teniendo que reacomodar a millones de personas. En cambio, lugares fríos como Canadá, están viendo un aumento en las tierras útiles para el cultivo. Supongo que aquí ya te estarás preguntando ¿Pero qué pasa con México?, bueno, como te había adelantado, nuestro país tiene todas las de perder si sigue aumentando el clima.

## Cambio climático en México

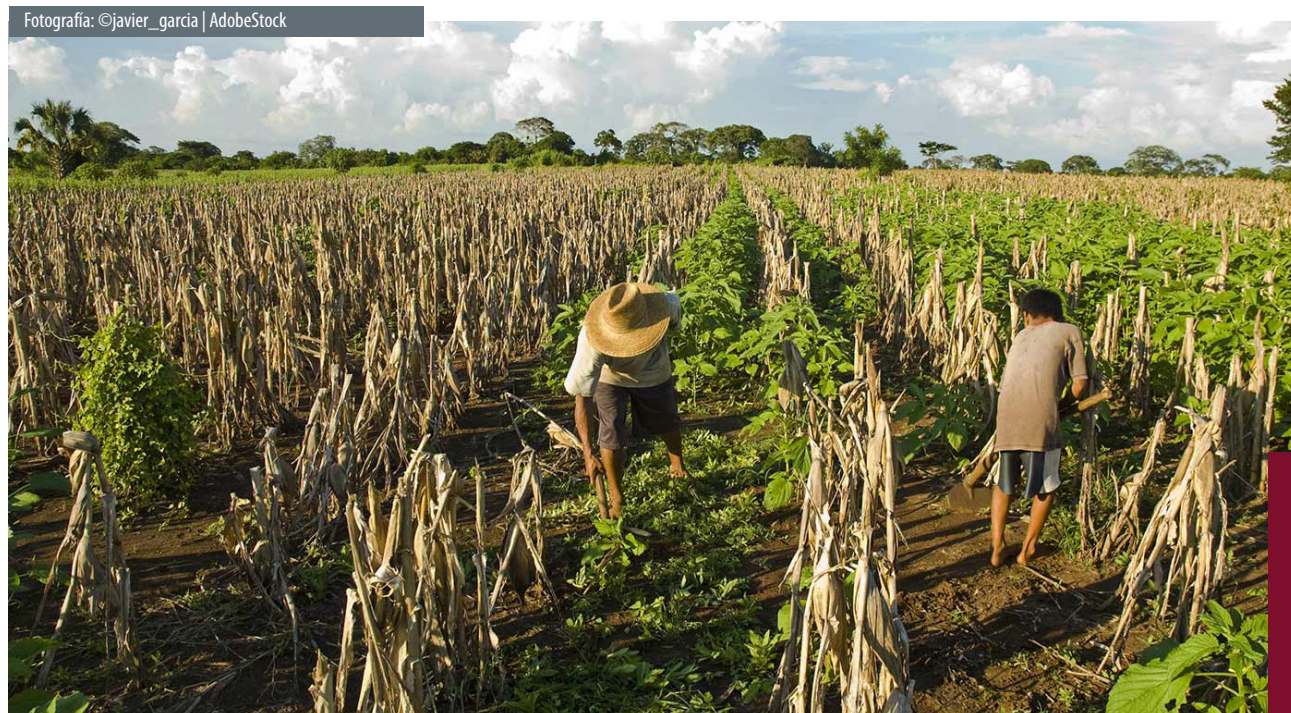
México tiene al menos tres características que hacen y harán del cambio climático un problema de magnitudes inimaginables: su localización geográfica, su estructura de producción de alimentos y la vulnerabilidad socioeconómica de la población. Toda una receta para el desastre, pero también una oportunidad enorme, para modificar de fondo la estructura de nuestro país. Hablemos entonces de cada elemento.

En primer lugar, tenemos la curiosa localización geográfica de nuestro país en el mapa. Tenemos medio país ubicado en zonas tropicales y otro medio por encima del trópico de cáncer, lo que deriva en una plétora de ecosistemas: desde selvas hasta desiertos, montañas boscosas y enormes pasturas.

A eso se le suma un relieve extraordinariamente accidentado, lleno de cadenas montañosas y volcanes por todos lados. No contentos con eso, nos rodean dos océanos distintos con corrientes marinas que se mueven en sentidos contrarios y que empujan huracanes por ambos frentes del país. Todo lo anterior se traduce en un montón de microclimas locales particulares y altamente sensibles a los cambios en el clima mundial.

Este mosaico climático ha derivado en la adaptación y evolución de miles de especies animales y florales muy particulares. Gracias a esta mezcla de accidentes geográficos, es que México es un país megadiverso. Tenemos una flora y fauna como pocos, y somos el noveno país con el mayor número de especies endémicas. Entonces, al modificar el clima, ponernos en riesgo miles de años de evolución.

Pero no sólo se trata de la adaptación de la vida, nuestra agricultura ha seguido el mismo camino y he aquí el segundo punto de riesgo. La domesticación de las especies básicas de nuestra dieta: maíz, frijoles, jitomate, calabaza, chiles, se llevó a cabo bajo la premisa de un clima predecible a lo largo de miles de años, y así adaptamos variedades a condiciones locales, para abastecernos de alimentos. Nuestro maíz de temporal y todas nuestras milpas, operan confiando en que las lluvias llegarán entre



mayo y octubre, cuando eso no sucede, se pierden miles de hectáreas de cultivos. Un clima extremo e impredecible, como el generado por el cambio climático, representa un profundo peligro para la producción de temporal de todo el país, de la cual dependen millones de personas.

Todo ello no sería tan terrible en un país con seguros para el campo o con medios alternativos de generación de ingresos y alimentos. Pero ese no es el caso de México. Muchos de los pobladores rurales, dependen directamente del rendimiento de su milpa y, por ende, de la confiabilidad en un clima estable. Nuestro sistema de producción de alimentos y la gente que depende de él, se encuentran a merced del clima, con poca capacidad de movimiento. Así, un evento extremo, como una sequía, una inundación o un huracán de categoría 5, pueden significar la pérdida completa de todo su patrimonio. La vulnerabilidad socioeconómica del campo mexicano y sus pobladores, son el último elemento que hace del cambio climático una bomba de tiempo de malestar social.

Hasta aquí te he contado una historia de riesgo y peligro. Te he contado porqué el cambio climático es tan peligroso para nuestro mundo y en particular para México. Se trata de la desaparición de miles de especies animales y vegetales, de daños irreparables a nuestros sistemas productivos y de un aumento significativo en la pobreza y el malestar social. No obstante, hasta ahora sólo te he narrado los peligros que este fenómeno representa y la visión no es muy alentadora. Cerremos entonces la historia, con las posibilidades que nos quedan para hacer frente a este riesgo y con mucha esperanza de cambio.

## Alternativas de desarrollo

Lo anterior ha dejado en claro que nuestro modelo de desarrollo es insostenible. Nos quedan 20-30 años para llevar a cabo un cambio profundo en la manera en que manejamos la Tierra para producir bienes y servicios, de lo contrario nos enfrentaremos a una verdadera calamidad global. En ese sentido, se han planteado muchas alternativas distintas de desarrollo y aquí te resumo varias de ellas.

Para redirigir nuestra relación con la naturaleza es necesario llevar a cabo cambios en cuatro grandes áreas —al menos—: producción de alimentos y patrones de alimentación; generación de energía y producción industrial; transportación, tanto humana como de bienes y servicios; y desperdicios, desechos y residuos. Como humanidad, urge el comenzar a generar sistemas de producción de alimentos locales, sustentables y que reduzcan su necesidad de petróleo, y el repensar nuestra dieta. Lo bueno es que contamos con excelentes ejemplos, aquí mismo en México. Cooperativas como Tosepan Titataniske, Yomol A'Tel, Cooperativa las Cañadas o San Juan Nuevo, nos muestran un claro ejemplo de que el desarrollo económico no tiene que estar peleado con el ambiental, y que la provisión de alimentos puede darse a la par de la protección de la biodiversidad y los ecosistemas, siempre que se aprovechen los recursos y las capacidades locales.

En segundo lugar, tenemos la industrialización basada en el carbón, el gas y el petróleo. Utilizamos estos elementos para generar energía y producir bienes (pensemos nada más los plásticos) y en el camino lanzamos a la atmósfera cantidades inima-



ginables de gases. La rama industrial es la principal responsable de emitir gases de efecto invernadero, representando más de la mitad. Por lo tanto, es imperativa la necesidad de llevar a cabo dos acciones: la sustitución energética y el reciclado de derivados de petróleo. Primero que nada, como planeta y país, debemos comenzar a dejar de usar carbón, gas y petróleo, y dirigirnos a energía con emisiones reducidas: como la eólica, solar o la nuclear. Aquí, la única restricción es la voluntad, dado que tenemos la tecnología lista para llevarlo a cabo. Similar es el caso del reciclado de los derivados del petróleo (plásticos, llantas, etcétera), que únicamente necesitan de la creación de un sistema eficaz de colecta, para evitar que terminen en el océano o nuestros enormes tiraderos terrestres.

La tercera vía de acción se centra en el transporte. Movernos y mover nuestras cosas de un lado a otro, tiene un serio impacto en el ambiente. No sólo tenemos que pavimentar calles y autopistas, pero también tenemos que mover enormes vehículos de metal por aire, mar y tierra. El resultado es que el transporte emite otra una cuarta parte de los gases de efecto invernadero a la atmósfera. La alternativa, es generar cadenas de provisión de productos locales e impulsar el transporte colectivo dentro de las grandes ciudades. Por supuesto, también acompañar esto de la provisión de rutas para medios de transporte alternativo, como ciclistas y banquetas.

El último punto aquí vertido es cambiar nuestros sistemas de desperdicio y generación de residuos. Actualmente, la enorme mayoría de los productos del supermercado vienen enlatados, empaquetados, en tetrapack, en vidrio, plastificados y demás. Como resultado, tiramos un montón de desperdicios en nuestros botes de basura, que luego son transportados por un camión a un enorme basurreo. En este va todo mezclado y se deja en el suelo para descomponerse y, esperamos, volverse nuevamente tierra. En el camino, la basura emite gases de efecto invernadero y contamina nuestros suelos y el agua. Aquí entonces hay dos necesidades: cambiar nuestros empaquetados (e idealmente eliminarlos) y generar sistemas eficientes de separación y rehúso de basura. Al final, el término basura se trata de una mezcla de sustancias a la que no podemos darle otro uso, si logramos que tenga una segunda vida, entonces no existe. Alternativas como generar compostas o abonos de los productos orgánicos, reusar plásticos para crear ropa o utensilios domésticos, re-

cuperar los metales y fundirlos para un nuevo uso, son el camino sustentable para seguir, además de una mina de oro potencial.

## Conclusión: el futuro en nuestras manos

Espero que con lo anterior haya podido explicar con mayor claridad, que el cambio climático es un peligro enorme para nuestro planeta, nuestra humanidad y en particular para nuestro país. Estamos en riesgo de perder a muchos de nuestros compañeros planetarios, los demás seres vivos, de arriesgar nuestro sistema de producción de alimentos y de provocar un profundo malestar social. No obstante, también representa una oportunidad única para replantear un modelo de desarrollo obsoleto —de más de 500 años— y encontrar un equilibrio ambiental, económico y social.

## Referencias

### En inglés

- IPCC. 2013. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)
- Tilman, D., & Clark, M. (2014). Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515(7528), 518-522.
- Murray-Tortarolo, G. N., Jaramillo, V. J., & Larsen, J. (2018). Food security and climate change: the case of rainfed maize production in Mexico. *Agricultural and Forest Meteorology*, 253, 124-131.

### En español

- Murray-Tortarolo G., (2018). El reto del maíz frente al cambio climático. *Revista Digital Unversitaria*. Recuperado de [http://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v19\\_n1\\_a1\\_Murray.pdf](http://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v19_n1_a1_Murray.pdf).
- Murray-Tortarolo, G. y Donnet-Tortarolo B. 2018. La dieta humana contra los ecosistemas del mundo. ¿Como Ves?. Recuperado de <http://www.comoves.unam.mx/numeros/indice/236>.
- Murray-Tortarolo, G. y Murray-Prisant, G. Clima desbocado. ¿Como Ves?. Recuperado de <http://www.comoves.unam.mx/numeros/indice/168>.

# ¿Qué entendemos por cambio climático? Estudios sobre las ideas y los modelos explicativos de los estudiantes

Fotografía: © Jozsitoeroe | AdobeStock

36

**E**N ESTE ARTÍCULO SE DESCRIBEN LAS IDEAS ALTERNATIVAS Y SE analizan los niveles de sofisticación en los que se sitúan los modelos de los estudiantes sobre el cambio climático que se han descrito en la literatura sobre este tema. Consideramos que es importante dar a conocer las ideas previas y los modelos de los estudiantes. Se ha visto que estas ideas y modelos son compartidas por una parte importante de la población (Bostrom, Morgan, Fischhoff y Read 1994; Sterman y Sweeney, 2007). Entender estos modelos ayudará a mejorar la comunicación sobre el cambio climático puesto que se debe de partir de las ideas y modelos de los individuos para a través del diálogo y la discusión buscar estrategias para hacer evolucionar estos modelos hacia modelos más sofisticados y más próximos a los modelos de la Ciencia. Una mejor comprensión sobre esta temática hará a las personas reflexionar sobre la relación existente entre el cambio climático y su estilo de vida, y las hará más conscientes de la necesidad de un cambio.



Isabel García-Rodeja Gayoso

Universidad de Santiago de Compostela (España), Departamento de Didácticas Aplicadas.

 [https://www.researchgate.net/profile/Isabel\\_García-Rodeja](https://www.researchgate.net/profile/Isabel_García-Rodeja)

 <https://scholar.google.com/citations?user=QGVIIJ34AAAAJ&hl=es>



Vanessa Sesto Varela

 [https://www.researchgate.net/profile/Vanessa\\_Sesto2](https://www.researchgate.net/profile/Vanessa_Sesto2)

## Introducción

El estado actual de alerta planetaria nos lleva a la necesidad de un cambio de rumbo en la forma de gestionar los recursos del planeta. Este cambio para un futuro sostenible requiere modificar aspectos políticos y económicos y requiere además cambios en las formas de pensar y de actuar de las personas. Es por ello que se aboga por poner a la sostenibilidad en el centro del proceso educativo.

Aunque la educación para la sostenibilidad es una materia transversal que se ha de trabajar desde diferentes ámbitos educativos, la educación científica tiene mucho que aportar, ya que uno de sus objetivos es precisamente que los ciudadanos conozcan la naturaleza de los problemas ambientales para que sean capaces de actuar de forma responsable y tomar decisiones bien informadas (García-Rodeja y Lima, 2012). Hoy en día, ya bien entrado el siglo XXI, la alfabetización científica no es suficiente para ayudar a afrontar los retos de un mundo en una emergencia planetaria sin precedentes, y se hace necesario que vaya acompañada de una alfabetización ecológica para todos los ciudadanos (García-Rodeja, Vázquez y Sesto, 2020). Sin embargo, dar a conocer la naturaleza de los problemas ambientales y mejorar la comprensión de otras personas sobre estos temas no es una tarea sencilla y se han señalado distintos factores que pueden dificultar esta tarea como es la existencia de ideas y modelos alternativos a los de la Ciencia que se pretende enseñar.

## ¿Por qué se estudian las concepciones de los estudiantes?

En el área de didáctica de las ciencias una de las líneas de investigación más prolíficas en las últimas décadas ha sido el estudio de las concepciones alternativas de los estudiantes sobre determinados conceptos científicos porque se vio que estas ideas podían dificultar el aprendizaje de las ideas científicas que quería transmitir el docente (ver, por ejemplo, Duit, 2009).

Algunos autores han hecho referencia a la necesidad de diferenciar entre la diversidad de ideas de los estudiantes, que van desde ideas que se construyen por un inadecuado tratamiento esco-

lar hasta otras que constituyen verdaderos obstáculos epistemológicos, desde nociones aisladas hasta nociones relacionadas que pueden funcionar como teorías o modelos implícitos (Pedrinaci, 1996). Vemos entonces que las ideas alternativas pueden estructurarse en modelos personales de pensamiento, modelos explicativos alternativos o modelos mentales que son percibidos por los individuos como consistentes, incluso en aquellos casos en los que estos modelos son claramente incompletos o contradicen a los modelos de la ciencia escolar (García-Rodeja, 1999; García-Rodeja y Lima, 2012; Reinfried y Tempelmann, 2014).

## ¿Qué son los modelos mentales?

Dentro del campo de la Didáctica de las Ciencias se hace hincapié en la necesidad de conocer los modelos mentales que construyen los estudiantes. Los modelos mentales consisten en representaciones construidas en la mente de cada individuo en base al conocimiento existente y experiencias pasadas con la finalidad de hacer predicciones, describir o explicar hechos o fenómenos. Los modelos mentales, además de ser idiosincrásicos y personales, son de naturaleza dinámica, pues son constantemente sometidos a un proceso de revisión por parte de los estudiantes conforme interactúan con los hechos y fenómenos, y están expuestos a nuevo conocimiento, ideas y experiencias (Greca y Moreira 2000; Pujol y Márquez 2011). Al ser representaciones dinámicas que pueden expandirse o mejorarse a medida que se incorpora nueva información (Johnson-Laird, 1983).

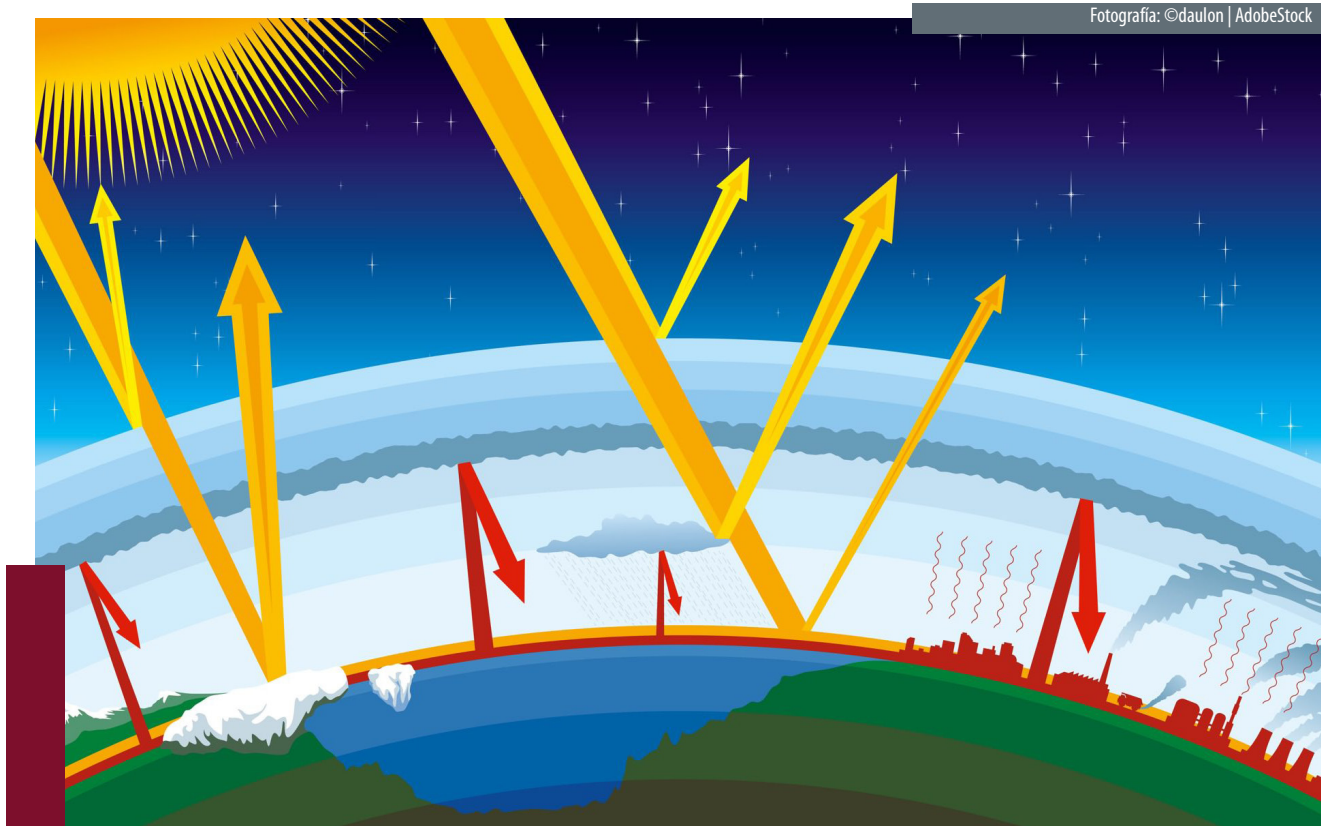
Por otra parte, los modelos mentales están basados en un conjunto de suposiciones que resultan consistentes para los individuos que los sostienen, aun cuando en numerosas ocasiones dichas suposiciones son incompatibles o contradicen los modelos científicos. Si los modelos mentales del individuo implican muchas distorsiones, preconcepciones y concepciones alternativas, estas podrían conducir a explicaciones inexactas (Reinfried y Tempelmann, 2014). Sin embargo, debido a la naturaleza dinámica de los modelos mentales, aquellos que difieren en contenido y estructura de los modelos científicos pueden evolucionar si se implementan estrategias de enseñanza adecuadas.

## En pocas palabras: algunas cosas que sabemos del cambio climático

En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992) se define el cambio climático como " un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables" (p. 3). Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), el calentamiento de la Tierra es inequívoco, observándose desde la década de 1950 una serie de cambios sin precedentes. La acción del hombre es clara e incuestionable en el precipitado aumento de la velocidad del cambio climático que se ha producido en las últimas décadas (IPCC 2014). Algunos de los cambios que han tenido lugar en el sistema climático son el calentamiento de la atmósfera y de los océanos, la disminución de los volúmenes de hielo y nieve, y la elevación del nivel del mar (IPCC 2014). También se han producido numerosos impactos sobre los sis-

temas naturales y humanos, así como episodios de fenómenos meteorológicos extremos.

Una de las principales causas de este problema ambiental de escala global son las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, clorofluorocarbonos, hexafluoruro de azufre, óxido nitroso, ozono troposférico entre otros), las cuales se han incrementado desde la era preindustrial debido al crecimiento económico y demográfico (IPCC 2014). Entre los principales gases de efecto invernadero (GEI), el dióxido de carbono ha aumentado de 280 partes por millón (ppm) antes de la Revolución Industrial, a 415 ppm. Los otros gases implicados en el calentamiento global tienen también un importante impacto ya que hay que tener en cuenta no solo el incremento en la concentración sino también la contribución por molécula. En otras palabras, si bien algunos GEI no existen de forma natural en la atmósfera, otros sí lo hacen (por ejemplo,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). En cualquiera caso hoy sabemos que el





aumento de la concentración de GEI en la atmósfera se debe a actividades humanas.

## ¿Cuáles son las ideas alternativas de los estudiantes sobre el cambio climático?

Los primeros estudios acerca de las concepciones de los estudiantes sobre el efecto invernadero y el cambio climático se remontan a la década de los 90. A lo largo de todos estos años, diversas investigaciones han revelado que, en general, los estudiantes desconocen en qué consiste el efecto invernadero (Andersson y Wallin 2000; Fisher 1998; Pruneau et al. 2001), no distinguen entre el calentamiento global y el efecto invernadero (Andersson y Wallin 2000; Boyes y Stanisstreet 1993) y/o vinculan estos fenómenos atmosféricos con la destrucción de la capa de ozono (Boyes y Stanisstreet 1993; Fisher 1998; García-Rodeja y Lima 2012; Groves y Pugh 1999; Liarakou Athanasiadis y Gavrilakis 2011; Meadows y Wiesenmayer 1999; Punter, Ochando-Pardo y García 2011).

Además, investigaciones sobre la comprensión de los estudiantes y futuros profesores sobre el calentamiento global muestran que el pensamiento de estudiantes y adultos comparte elementos comunes, por ejemplo, la tendencia a confundir el efecto invernadero con la disminución de la capa de ozono o considerar la disminución de la capa de ozono causa del calentamiento global (Andersson y Wallin, 2000; Boon, 2010; Bostrom *et al.*, 1994; Boyes y Stanisstreet, 1993; Dove, 1996; Koulaidis y Christidou, 1999; Pruneau *et al.*, 2001; Punter *et al.*, 2011; Sterman y Sweeney, 2007; etcétera).

En general, estos estudios han identificado las siguientes tendencias (García-Rodeja y Lima, 2012): comprender e interpretar el efecto invernadero exclusivamente como un problema ambiental; ignorar el hecho de que es el resultado de un mecanismo natural; confundir la naturaleza de los problemas ambientales (cambio climático y disminución del ozono estratosférico) o atribuirles una relación causal; y confundir las causas, efectos y posibles estrategias para mitigar estos problemas.



Fotografía: ©daulon | AdobeStock



Fotografía: ©malp | AdobeStock

## ¿Cuáles son los modelos explicativos de los estudiantes sobre el cambio climático?

40

Al estudiar las concepciones de los estudiantes sobre el cambio climático nos podemos limitar a detectar ideas alternativas, o bien podemos indagar sobre si estas ideas se estructuran en modelos explicativos. Mientras las ideas alternativas se pueden pensar como ideas más o menos estáticas y aisladas, los modelos explicativos estarían constituidos por una estructura de creencias e imágenes que, además, es generativa, es decir, permite a los estudiantes integrar nueva información, hacer predicciones, actuar y generar nuevos conocimientos al pensar con dichos modelos. Los modelos pueden generar nuevas ideas que se alejan, a veces, de las ideas de la ciencia escolar. El aprendizaje significativo requiere en estos casos no únicamente adquirir nueva información, sino también una reconstrucción de dichos modelos que son personales y resistentes al cambio (ver, por ejemplo, Hewson, 1981).

Schraw, Crippen y Hartley (2006) consideraron que los estudiantes deben construir modelos mentales adecuados para poder integrar las relaciones funcionales y causales de sistemas complejos como el clima global. Otros autores fueron más allá al estudiar la comprensión de los estudiantes sobre el cambio climático, infiriendo los modelos mentales mediante los cuales se estructuran las concepciones de los estudiantes (p. ej., Andersson y Wallin, 2000; García-Rodeja y Lima, 2012; Koulaidis y Christidou, 1999; Reinfried y Tempelmann, 2014; Shepardson, Niyogi, Choi y Charusombat, 2011).

En un trabajo reciente Varela, Sesto y García-Rodeja (2020) categorizan los modelos mentales de estudiantes de 12 a 13 años con respecto al cambio climático y el efecto invernadero en cuatro niveles (Figura 1). Estos niveles se enumeran del 1 al 4 en orden creciente de sofisticación, intentando mostrar una progresión en el aprendizaje de los estudiantes sobre el efecto invernadero.

Los modelos mentales de nivel 1 son descriptivos y similares a lo que Reinfried y Tempelmann (2014) denominaron “conocimientos aislados”. Este nivel agrupa modelos en los que no se indican mecanismos de funcionamiento, por lo que es considerado el nivel más bajo de sofisticación. El cambio climático se relaciona con el aumento de la temperatura de la Tierra, pero no se hace referencia a qué es el efecto invernadero. Generalmente, los estudiantes cuyos modelos se sitúan en este nivel indican como causa del cambio climático la contaminación, y como medidas para disminuir la velocidad del cambio climático sugieren reducir el uso de coches particulares y no contaminar.

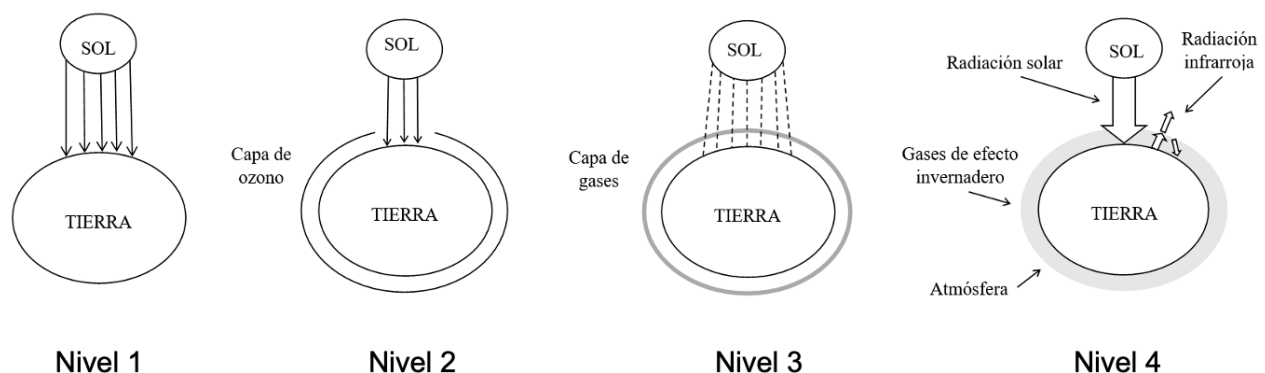
Los modelos mentales de nivel 2 incorporaron la idea de que la destrucción de la capa de ozono permite que más radiación llegue a la Tierra, o que el engrosamiento de la capa de ozono evita que la radiación solar sea emitida de regreso al espacio. Este nivel es comparable al modelo mental 2 identificado por Shepardson et al. (2011). En este nivel se sitúan aquellos modelos en los que se presenta la idea de que la destrucción de la capa de ozono o el agujero de ozono causados por la contaminación permiten que llegue más radiación solar a la Tierra calentándola, o que la contaminación provoca un engrosamiento de la capa de ozono que impide que la radiación solar sea reemitida al espacio.

Para disminuir el cambio climático, en este nivel los estudiantes suelen sugerir reducir las emisiones de gases que afectan a la capa de ozono.

Los modelos mentales de nivel 3 son aquellos que incorporan la idea de que hay gases que se emiten a la atmósfera que atrapan el calor. También se incluye la idea de una capa de gases que envuelve a la Tierra. Para disminuir el cambio climático los estudiantes suelen sugerir reducir la emisión de gases.

Los modelos mentales de nivel 4 son los más cercanos al modelo enseñado en la ciencia escolar. Este nivel agrupa a aquellos modelos en los que se presenta la idea de que los gases de efecto invernadero absorben parte de la radiación emitida por la Tierra impidiendo que salga hacia el espacio en su totalidad. Los modelos de este nivel, a diferencia de los modelos que se encuadran en el nivel 3, incorporan la idea de que los gases de efecto invernadero se encuentran uniformemente distribuidos en la atmósfera, en lugar de estar concentrados formando una capa. En este nivel los estudiantes tienden a diferenciar mejor entre la radiación visible procedente del Sol y la radiación infrarroja emitida por la Tierra. Además, los estudiantes en este nivel suelen reconocer que no toda la radiación es reemitida de nuevo a la Tierra, sino que una parte se emite al espacio. Se considera el nivel de sofisticación más alto.

**Figura 1. Diagramas de los niveles en los que se estructuran los modelos mentales de los estudiantes de 12 a 13 años sobre el efecto invernadero**





Fotografía: ©malp | AdobeStock

42

Los resultados del trabajo revelaron que modelos descriptivos como los incluidos en el nivel 1 se pueden modificar fácilmente y evolucionar hacia modelos cercanos al modelo ofrecido en el aula de ciencias de la escuela. Los estudiantes con modelos mentales de nivel 1 tienen un conocimiento previo limitado del efecto invernadero. Como consecuencia, son capaces de reconstruir fácilmente sus modelos mentales asimilando nueva información en estructuras de conocimiento existentes. Por el contrario, la evolución de modelos en el nivel 2 es difícil de lograr debido a que implica la modificación de un modelo inicialmente coherente y funcional. Las diferencias entre sus ideas anteriores y la nueva información son tan profundas que los estudiantes tienen que construir un nuevo modelo mental para poder explicar los mecanismos del efecto invernadero (Reinfried y Tempelmann, 2014). Como implicaciones educativas, proponemos crear situaciones en el aula que permitan a los estudiantes hacer explícitas sus representaciones mentales, dándoles la oportunidad de comparar su validez a través de la discusión.

## Para terminar

Aunque el tema del cambio climático es uno de los temas científicos sociales más importantes, numerosos estudios han demostrado que las ideas y los modelos mentales de los estudiantes y del público en general sobre el cambio climático siguen siendo inapropiados. Conocer estas ideas y modelos es crucial a la hora de elaborar estrategias para una

mejor comunicación del cambio climático. Puede ocurrir que si una parte de la ciudadanía comparte modelos explicativos del nivel 1 tenga dificultad en entender determinadas estrategias de mitigación del cambio climático. Y puede ocurrir que si una parte de la ciudadanía comparte modelos de nivel 2 considere que el cambio climático es un problema poco relevante el haberse conseguido a través de acuerdos internacionales una reducción importante de los gases que contribuyen al deterioro de la capa de ozono y se suban al carro de los negacionistas. Sin embargo, una ciudadanía bien informada y con una buena comprensión de esta problemática, será una ciudadanía capaz entender lo que está en juego; emprender y apoyar acciones de adaptación al cambio climático, y emprender y apoyar actuaciones que ayuden a su mitigación. Consideramos que cuanto mayor sea la comprensión de los individuos sobre este problema ambiental, y cuanto mayor sea su capacidad para evaluar la validez de los argumentos científicos sobre el cambio climático, mayor será su capacidad de usar esta información en la toma de decisiones acerca de cómo responder a este reto al que nos enfrentamos todos.

## Referencias

Andersson, B., & Wallin, A. (2000). Students' Understanding of the Greenhouse Effect, the Societal Consequences of Reducing CO<sub>2</sub> Emissions and the problem of Ozone Layer Depletion. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1096-1111.

- Boon, H. J. (2010). Climate Change? Who Knows? A comparison of secondary students and preservice teachers. *Australian Journal of Teacher Education*, 35 (1), 104-120.
- Bostrom, A.; Morgan, M. G.; Fischhoff, B., & Read, D. (1994). What Do People Know About Global Climate Change? 1. Mental Models. *Risk Analysis*, 14(6), 959-970.
- Boyes, E., & Stanisstreet, M. (1993). The Greenhouse Effect: Children's perception of causes, consequences and cures. *International Journal of Science Education*, 15(5), 531-552.
- Dove, J. (1996). Students teacher understanding of the greenhouse effect, ozone layer depletion and acid rain. *Environmental Education Research*, 2(1), pp. 89-100.
- Duit, R. (2009). Bibliography STCSE: Students' and teachers' conceptions and science education. Kiel, Germany: University of Kiel.
- Fisher, B. (1998). Australian students' appreciation of the Greenhouse effect and the ozone hole. *Australian Science Teachers Journal*, 44(3), 46-55.
- García-Rodeja Gayoso, I., & Lima de Oliveira, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos sección investigación didáctica. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 0195-218.
- García-Rodeja, I. (1999). El sistema Tierra y el efecto invernadero. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (20), 75-84.
- García-Rodeja, I.; Vázquez, C., & Sesto, V. (2020). Modelos del alumnado de primaria sobre las semillas desde la perspectiva de eco-alfabetización. *Innovación educativa*, (30), 95-111. Recuperado de <https://doi.org/10.15304/ie.30.7063>.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Groves, F. H., & Pugh, A. F. (1999). Elementary Pre-Service Teacher Perceptions of the Greenhouse Effect. *Journal of Science Education and Technology*, 8(1), 75-81.
- Hewson, P. W. (1981). A conceptual change approach to learning science. *European journal of science education*, 3(4), 383-396.
- 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 [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Johnson-Laird, P. N. (1983) *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Koulaidis, V., & Christidou, V. (1999). Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education*, 83(5), 559-576.
- Liarakou, G., Athanasiadis, I., & Gavrilakis, C. (2011). What Greek Secondary School Students Believe about Climate Change? *International Journal of Environmental and Science Education*, 6(1), 79-98.
- Meadows, G., & Wiesenmayer, R. L. (1999). Identifying and Addressing Students' Alternative Conceptions of the Causes of Global Warming: The Need for Cognitive Conflict. *Journal of Science Education and Technology*, 8(3), 235-239.
- Naciones Unidas. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 3(7), 27-36
- Pruneau, D.; Liboiron, L.; Vrain, E.; Gravel, H.; Bourque, W., & Langis, J. (2001). People's Ideas about Climate Change: A Source of Inspiration for the Creation of Educational Programs. *Canadian Journal of Environmental Education*, 6, 121-138.
- Pujol, R., y Márquez, C. (2011). Las concepciones y los modelos de los estudiantes sobre el mundo natural y su función en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. En P. Cañal (Ed.), *Didáctica de la Biología y Geología* (pp. 71-89). Barcelona: Graó.
- Punter, P.; Ochando-Pardo, M., y García, J. (2011). Spanish secondary students' notion on the causes and consequences of climate change. *International Journal of Science Education*, 33(3), 447-464.
- Reinfried S., & Tempelmann S. (2014) The impact of secondary school students' preconceptions on the evolution of their mental models of the greenhouse effect and global warming. *International Journal of Science Education*, 36(2), 304-333. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2013.773598>.
- Schraw, G.; Crippen, K. J.; & Hartley, K. (2006). Promoting self-regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36(1-2), 111-139.
- Shepardson, D. P.; Niyogi, D.; Choi, S. & Charusombat, U. (2011). Students' conceptions about the greenhouse effect, global warming, and climate change. *Climatic Change*, 104(3-4), 481-507.
- Sterman, J. D., & Sweeney, L. B. (2007). Understanding public complacency about climate change: adults' mental models of climate change violate conservation of matter. *Climatic Change*, 80, 213-238.
- Varela, B.; Sesto, V., & García-Rodeja, I. (2020). An investigation of secondary students' mental models of climate change and the greenhouse effect. *Research in Science Education*, 50(2), 599-624. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9703-1>.

# El peso de las ciudades mexicanas en un contexto de cambio climático: consumo de energía y materiales del Sistema Urbano Nacional

Fotografía: ©cbies | AdobeStock

## Resumen

44 **L**AS CIUDADES SON RESPONSABLES PRINCIPALES DE LA degradación ambiental en curso, incluyendo la agudización del cambio climático. Por esa misma razón, las ciudades son a la vez espacios clave para revertir dicha tendencia, contexto en el que la evaluación del «peso» que juegan en la demanda de combustibles fósiles y otros materiales es central debido a las implicaciones socioambientales que supone su extracción y uso. El presente texto hace una estimación del peso de las ciudades mexicanas, fijando su línea base en 2015 y proyectando un escenario tendencial al 2050. Los resultados obtenidos advierten que, de permanecer sin cambio las bases tecnológicas actuales, el consumo material doméstico de las ciudades mexicanas podría aumentar entre 45 % y 221 %, dependiendo del eventual cambio en el PIB per cápita real al 2050. La huella de carbono asociada al consumo de cemento, acero y aluminio podría representar un incremento de emisiones indirectas de entre 552 mil y 2.59 millones de gigagramos adicionales al volumen verificado en el 2015, nuevamente dependiendo del cambio en el PIB per cápita real, así como de la tipología de desarrollo urbano que



Gian Carlo Delgado Ramos

Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM.

[@giancdelgado](#)

se experimente al 2050. Ante dicho escenario tendencial se plantean una serie de medidas que podrían estimular cambios sustanciales, concluyendo que, la acción urgente y obligada, puede propiciarse aún en el marco de la actual crisis derivada de la pandemia covid-19 si ésta se asume como una oportunidad para reactivar las economías locales y avanzar hacia agendas de transformación urbana que efectivamente respondan a las realidades y prioridades locales con nociones de sustentabilidad, inclusión y justicia social.

Palabras clave: Sistema Urbano Nacional, cambio climático, metabolismo urbano, adaptación, mitigación, sustentabilidad.

## Introducción

El cambio climático global alude a la variabilidad de la temperatura, precipitación y circulación atmosférica observable a largo plazo. Se trata de un proceso mayormente provocado por la quema de combustibles fósiles, pero también por cambios abruptos en los usos del suelo. Como consecuencia, la concentración de gases que contribuyen al efecto invernadero ha aumentado y la capacidad de absorción de los ecosistemas disminuido (IPCC, 2014; UNEP, 2018). Tan sólo de 1860 a la fecha se han emitido 2,342 Gt (giga toneladas) de CO<sub>2</sub>e, lo que se ha traducido en un aumento en la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>e, de 277 ppm (partes por millón) en 1750 a 414 ppm en julio de 2020 (NOAA, 2020).

Para restringir el aumento de la temperatura promedio por debajo de 1.5 a 2°C, punto a partir del cual se esperan efectos irreversibles e imprevisibles, la humanidad deberá limitar sus emisiones a no más de 420–580 Gt de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2014 y 2018). No obstante, si los ritmos actuales de emisiones se mantienen (Peters *et al*, 2020), el plazo remanente es de poco más de once años antes de que se superen los 2°C de cambio en la temperatura promedio del planeta, de ahí la urgencia de la acción pues los impactos se traducirán en sequías, heladas u otros eventos hidrometeorológicos cada vez más intensos y recurrentes, pero también en la pérdida de glaciares y deshielo de los casquetes polares, el calentamiento y acidificación oceánica (los océanos absorben el 93% del calor global que entra al sistema climático terrestre; Johnson y Lyman, 2020), o el aumento del nivel del mar. Este escenario no

incluye los denominados «mecanismos de retroalimentación» que pueden amplificar los efectos de un cambio en el forzamiento del clima como lo es la eventual liberación del metano atrapado en el permafrost.

El cambio climático global no debe, sin embargo, entenderse como una preocupación exclusiva del futuro. Hoy día ya se constata, por ejemplo, un ascenso en la temperatura de 1°C por arriba del promedio preindustrial (de entre un rango de 0.8 y 1.2°C), el aceleramiento del derretimiento de la cobertura de hielo (Prein, Andrew y Heymsfield, 2020), el aumento de 26% en la acidez de los océanos, y el incremento del nivel del mar en 19 cm de 1901 a 2010 (IPCC, 2014). Tal situación no sólo potencia la pérdida de biodiversidad, sino que además puede, comprometer tanto la disponibilidad de agua fresca como de alimentos.

Cumplir la meta de los 2°C, establecida en el Acuerdo de París, no significa estar exentos de los impactos indeseados del cambio climático global dado que éstos podrían continuar por siglos aun cuando las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) efectivamente se detengan. Lo que se intenta con tal meta es más bien minimizar los efectos adversos, los cuales dependen del tipo y la celeridad de las medidas que se tomen. En dicho contexto, el papel que juegan las ciudades es fundamental.

## Las ciudades ante el cambio climático

45

Los asentamientos urbanos son espacios críticos de actuación frente al cambio ambiental global porque es ahí donde se aglomera el grueso de la población, se genera el 80% de la riqueza del planeta, se concentra buena parte de la infraestructura y edificaciones, de espacios de toma de decisiones, así como de las capacidades para la acción y la innovación. Las ciudades constituyen pues la mayor concentración territorializada de riqueza, población y recursos materiales, contexto en el que los requerimientos de esos últimos se relacionan tanto al tamaño de la población urbana y sus patrones de consumo, como a las modalidades de producción del espacio urbano, es decir, cómo se ocupa e interconecta dicho espacio, para qué y en beneficio de quién.

Lo dicho no es una cuestión menor. Con el esperado aumento de la población urbana a escala global (se calcula que el 68.4% de la población en 2050 será urbana; UNDESA, 2019), el espacio construido urbano podría ocupar entre 0.6 y 1.3 millones de km<sup>2</sup> (Huang *et al*, 2019). El avance de la urbanización del espacio implicará en consecuencia una intensificación de la demanda de energía y materiales necesarios para su construcción, funcionamiento y renovación, proceso en el que la estructura y estado de desarrollo de la economía urbana, la ubicación y grados de interacción existentes con lo regional y global, la gobernanza e inercias imperantes, así como las prácticas culturales, son factores que sin duda seguirán definiendo, los perfiles de consumo de las ciudades, las desigualdades intraurbanas y, desde luego, el grado de (in)sustentabilidad y vulnerabilidad urbana.

La contribución de las ciudades al cambio ambiental global, incluyendo el climático, es y seguirá siendo notoria en un escenario tendencial. En 2010 alrededor de unos 40 mil millones de toneladas de materiales fueron consumidos en las ciudades (IRP-UNEP, 2018), volumen que, para su obtención, fue necesaria la transformación de la naturaleza a múltiples escalas. Dicho peso material y energético podría incrementarse al alcanzar un volumen de 90 mil millones de toneladas en el 2050, momento en que se estima una población urbana de 6.3 mil millones de habitantes (Ibid). Dicho de otro modo, el incremento del consumo material doméstico – CMD<sup>1</sup> de las ciudades pasaría de las 11.6 toneladas per cápita en 2010, a unas 14 toneladas per cápita en el 2050, con posibilidades de incluso alcanzar 22 toneladas per cápita si la estimación se basa en una regresión del ingreso urbano per cápita. Tal consumo será desde luego variable en cada ciudad, por lo que se advierte un rango de consumo de entre 8 y 17 toneladas per cápita al 2050 (Ibid).

Modificar tal tendencia para dirigirse hacia un escenario de sustentabilidad moderada, requerirá de medidas que permitan disminuir el consumo urbano a 8 toneladas per cápita en promedio para el año 2050. Si en cambio se apuesta por un escenario de acción agresiva, el consumo per cápita promedio deberá ser de 6 toneladas según lo ha señalado el *International Resource Panel* como

meta a seguir en el marco del objetivo 12 de la Agenda 2030 (Ibid).

Debe subrayarse entonces que aún cuando las ciudades que hoy día verifican los mayores consumos de energía y materiales suelen ser aquellas del Norte Global, o de países económicamente desarrollados, el Sur Global está lejos de estar exento de una actuación proactiva, más aún cuando el grueso de la población urbana futura residirá ahí. Por eso, el sistema urbano de México no deja de ser relevante, particularmente sus complejas y muy diversas zonas metropolitanas, mismas que no sólo se han expandido en las últimas décadas, sino que han aumentado en número.

Aún más, y de cara al crecimiento esperado del espacio urbano nacional y global, resulta necesario el entrecruzamiento de la agenda urbana con las agendas climático-ambientales y de resiliencia, y éstas a su vez con la agenda de desarrollo en su sentido más amplio (es decir, no sólo aquella que refiere a lo estrictamente económico) pues qué se haga, o se deje de hacer en las ciudades, definirá en buena medida el futuro del clima, las condiciones mismas del medio ambiente, y la calidad de vida, no sólo de los residentes urbanos y rurales, sino también de otras formas de vida con las que compartimos el planeta Tierra.

Como se describe más adelante, las medidas posibles son diversas y atañen tanto a la forma como a la estructura urbana, pero, sobre todo, a un cambio de fondo en los procesos mismos de planeación, diseño, construcción y gestión de las ciudades de modo tal que los objetivos propuestos y los actores involucrados puedan ser fortalecidos y en su caso replanteados.

## Las ciudades en México

México es un país mayormente urbanizado con 74.2% de su población viviendo en alguna ciudad del país (SEDATU, CONAPO e Inegi, 2018). El aumento de la población urbana ha dado paso a un número mayor de ciudades: de 51 ciudades de más de 15 mil habitantes en 1878, a 178 ciudades en 1970 y 401 ciudades en la actualidad, mismas que se han categorizado en 74 zonas metropolitanas, 132 conurbaciones y 195 centros urbanos (Ibid).

El Sistema Urbano Nacional (SUN) comprende una población de 92.7 millones de personas, 84.5%

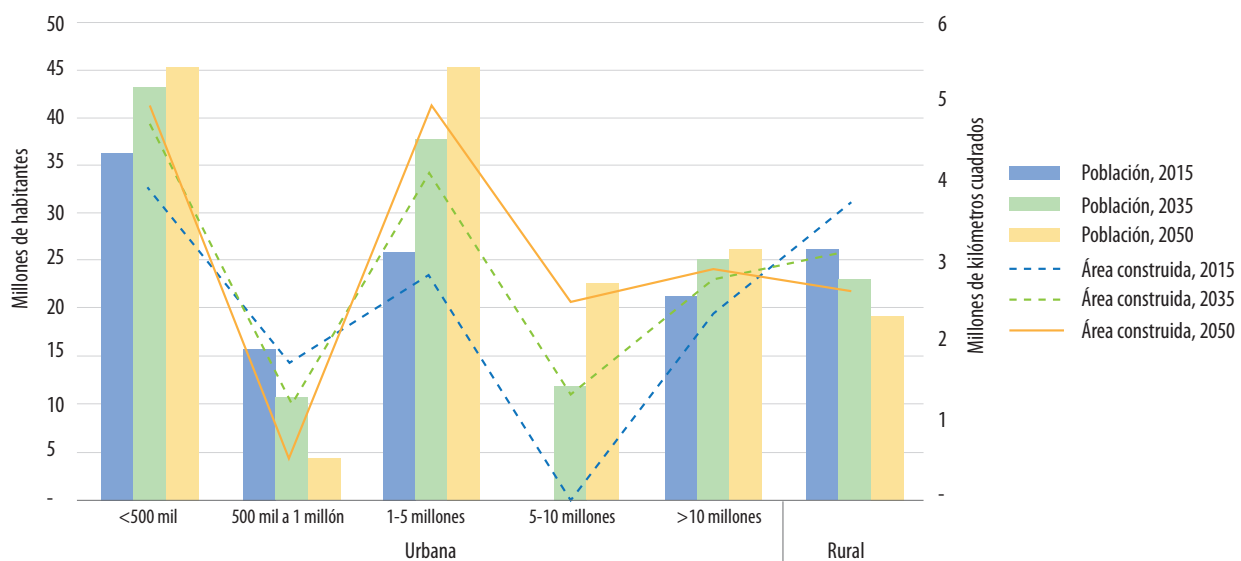
1 El CMD es la suma de la extracción doméstica y la importación de materiales, menos los materiales exportados.



de las cuales residen en zonas metropolitanas. El espacio construido se estima en alrededor de 14534.73 km<sup>2</sup>, del cual el 74.26% es considerado como centros o conglomerados urbanos, siendo el remanente espacio construido rural (Florczyk *et al.* 2019). Las tendencias de urbanización en el país sugieren que para el 2050, el 88% de la población vivirá en ciudades, esto es, alrededor de 145 millones de habitantes o prácticamente 50 millones de habitantes más que en el 2018 (UNDESA, 2019). Tal escenario supone una expansión del espacio construido de 3847 km<sup>2</sup> adicionales si es que se mantiene la densidad poblacional actual, contexto en el que el mayor incremento se dará en ciudades con una población de entre 5 a 10 millones de habitantes, seguidas por aquellas con una población de entre 1 y 5 millones de habitantes. Debe advertirse

que, a pesar de tal expansión del espacio construido, el grueso de la población residirá en ciudades con una población menor a 500 mil habitantes, seguidas por las de 1 a 5 millones de habitantes, razón por la cual se requiere atender los retos de todo el espectro de ciudades en el país. La figura 1 muestra la población y el espacio construido en el 2015 y los proyectados a 2035 y 2050 en México, ello tanto para el ámbito rural, como el urbano. Como se puede observar, tanto la población como el espacio construido rural tienden a valores cada vez menores lo que permite inferir, bajo este escenario tendencial, que el espacio rural construido será crecientemente subutilizado y/o abandonado. Desde luego ello no tiene que ser así, pero dependerá de las acciones que se tomen para modificar las tendencias imperantes.

**Figura 1. Población urbana y espacio construido en México**



Fuente: elaboración propia con base en datos de UNDESA, 2019.

El SUN no solo tendría que reconvertirse hacia uno cada vez más sustentable, incluyente y justo, sino también uno cada vez más resiliente. Y es que, como se ha advertido, el país ya es altamente vulnerable a los impactos del cambio climático: 480 municipios de 13 entidades federativas, fundamentalmente de Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Veracruz y Tabasco, presentan una vulnerabilidad alta

o muy alta, mientras que 888 municipios se ubican en un nivel medio de vulnerabilidad (DOF, 2014).

A continuación, se presenta el peso que tiene el SUN en cuanto a la demanda y acumulación de materiales, presente y futura. El planteamiento del escenario tendencial debe considerarse como una *advertencia temprana* (EEA, 2001), una tendencia que puede modificarse desde la acción inmediata y decidida.

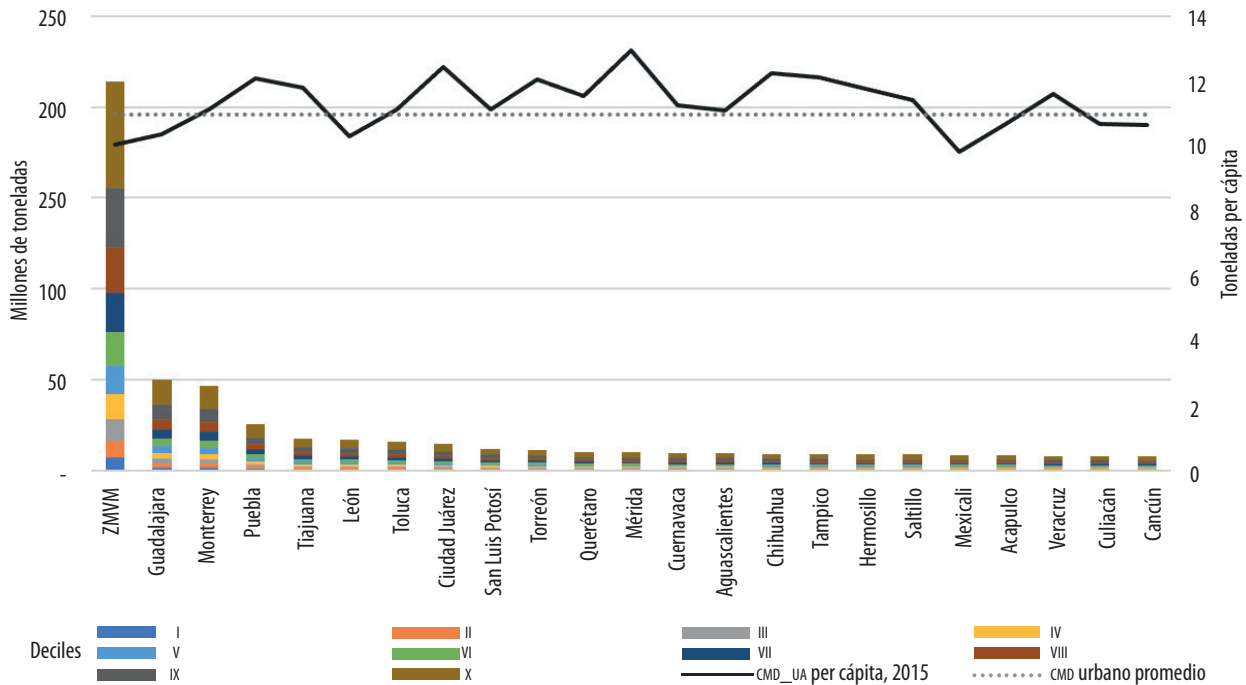
## El peso del Sistema Urbano Nacional<sup>2</sup>

En el marco de la elaboración del reporte *El Peso de las Ciudades en América Latina y el Caribe* del

2 Este apartado se basa en resultados preliminares del estudio *El Peso de las Ciudades en América Latina y el Caribe* el cual se prepara para el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el Panel Internacional de Recursos bajo la coordinación del que escribe (desde la Plataforma de Conocimiento para la Transformación Urbana; México) y de Diego Martino (desde Asesoramiento Ambiental Estratégico; Uruguay).

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y el International Resource Panel, el consumo material doméstico urbano (CMD\_U) del país se ha estimado en 1 095 millones de toneladas para el 2015, contexto en el que la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMVM) representó el 17.9% y las zonas metropolitanas de Guadalajara y Monterrey 4.3%, cada una (véase figura 2). Las tres ciudades más pobladas de México, junto con Puebla, Tijuana, León, Toluca y Ciudad Juárez, suman el 35.1% del CMD\_U nacional.

Figura 2. Consumo material doméstico por decil de ciudades seleccionadas, 2015

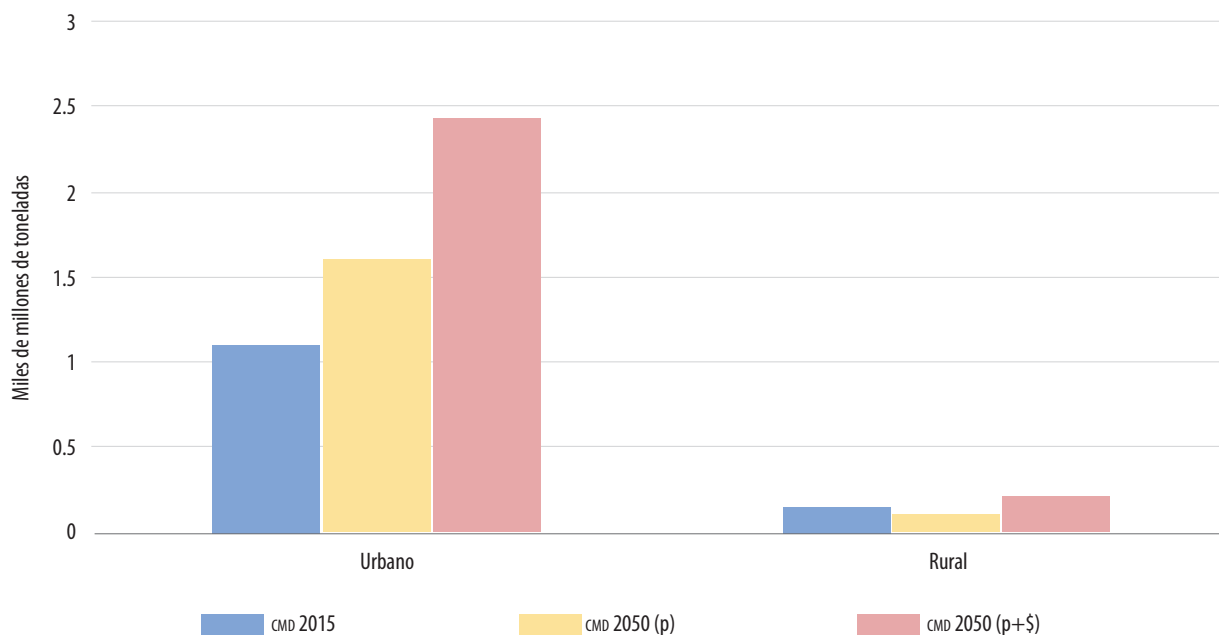


Fuente: elaboración propia.

Para 2050, se advierte que el CMD\_U podría aumentar 45.2%, bajo un escenario tendencial en el que no se presentan cambios en los patrones de consumo actuales, pero podría más que duplicarse (en un factor de 2.2) si la economía efectivamente se recupera en 2021 con un crecimiento del 1.5% del PIB per cápita real, alcanzando en 2023 las proyecciones de la OECD hacia el 2050 (OECD, sin fecha). Bajo

tal escenario, el incremento del CMD\_U total, alcanzaría un volumen de 2421 millones de toneladas o 16.7 toneladas per cápita de CMD\_U, es decir casi 6 toneladas per cápita más que en 2015. El volumen del CMD\_U al 2050 se ubicaría así por encima de la tasa de crecimiento poblacional esperado al alcanzar un incremento de 29.4 por ciento. Véase figura 3.

**Figura 3. Incremento probable del consumo material doméstico urbano al 2050**



Nota: CMD 2050 (p) refiere al escenario que sólo considera el aumento poblacional, manteniendo los mismos patrones de consumo de 2015. CMD 2050 (p+\$) es el escenario que contempla el aumento poblacional y el incremento del PIB per cápita real según la OECD (sin fecha). Fuente: elaboración propia.

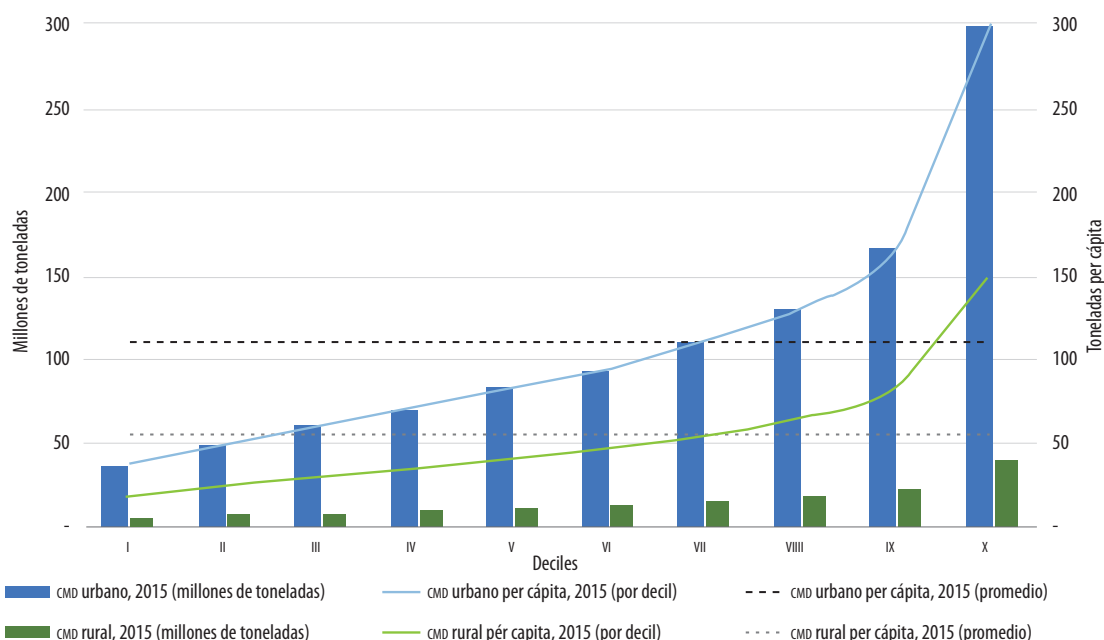
El reto es sin duda mayor puesto que los patrones de consumo promedio imperantes, de casi 11 toneladas per cápita, ya colocan al país por arriba de la meta que se ha propuesto en el marco del Objetivo 12 de la Agenda 2030 (IRP-UNEP, 2018), aunque desde luego, la responsabilidad es diferenciada: los siete deciles de la población con menores ingresos están dentro o por debajo de la *meta moderada* (de 8 toneladas de CMD per cápita), mientras que solamente los tres deciles con menores ingresos están por debajo de la *meta agresiva* (de 6 toneladas de CMD per cápita). Esto quiere decir que los tres deciles más ricos son los que en realidad catapultan al país hacia una posición ecológicamente inviable, particularmente los más ricos que presentan patrones de consumo 2.7 veces por arriba de la meta moderada, pero hasta cuatro veces por arriba de la meta agresiva; véase figura 4. Por su parte, es relevante notar que los consumos rurales están por debajo de la meta agresiva, lo que devela condicio-

nes de vida con importantes carencias materiales, particularmente para los primeros seis deciles.

Ahora bien, en lo que respecta a los materiales acumulados en las ciudades del país (*stock* material urbano), el volumen acumulado en los últimos 50 años se calcula en 8280 millones de toneladas, de las cuales el 12.4% se concentran en la ZMVM, revelando un valor per cápita menor al del grueso de ciudades del país pues mientras en esta zona metropolitana el *stock* material urbano per cápita es de unas 52.5 toneladas, en la de Guadalajara es de 60.2 toneladas, en la de Monterrey de 80.3 toneladas y en la zona metropolitana de Puebla de 105.8 toneladas.

El *stock* urbano, en un escenario tendencial, podría alcanzar un volumen de 12 383 millones de toneladas al 2050 aunque podría ser mayor si la huella urbana, derivada de bajas densidades urbanas, aumenta. De ahí que el ordenamiento territorial en general, y la buena planificación urbana en lo particular, sean cada vez de la mayor importancia para el país.

**Figura 4. Consumo material doméstico urbano por decil, 2015**



Fuente: elaboración propia.

## Retos y oportunidades para la sostenibilidad y resiliencia urbana

50

El escenario tendencial del peso de las ciudades tiene implicaciones no sólo climáticas sino ambientales. Los impactos derivados de los procesos extractivos y productivos necesarios para soportar la demanda tendencial creciente del consumo urbano agudizarán la actual crisis climático-ambiental (con efectos territorial y socialmente diferenciados), comprometiendo aún más el efectivo cumplimiento de los derechos humanos, incluyendo el derecho a un medio ambiente sano.

Para visualizar la dimensión del problema cabe observar las emisiones de GEI asociadas al consumo futuro de materiales de construcción, esencialmente cemento, acero y aluminio (los que se usan en mayor cantidad y que presentan la huella de carbono más intensa), las cuales podrían comprometer entre la cuarta y la tercera parte del presupuesto de carbono global al 2050, si es que se desarrolla la infraestructura y el stock de vivienda urbana siguiendo la misma ruta de los países desarrollados (Bai *et al*, 2018). En el caso de México, la huella urbana de carbono de tales materiales podría pasar

de 1 770 millones de toneladas de  $\text{CO}_2\text{e}$  estimadas al año 2015 —unas 3.7 veces las emisiones totales del país en 2018— a 2 322 millones de toneladas de  $\text{CO}_2\text{e}$  si se considera sólo el aumento poblacional (estimaciones con base en Bai *et al*, 2018). Es decir, se emitirían 552 millones de toneladas adicionales sólo en el ámbito urbano. No obstante, ese volumen podría casi duplicarse si se consideran potenciales cambios en los patrones de consumo urbano, incentivados por un escenario de crecimiento económico como el ya antes descrito. En ese caso, se podría alcanzar una huella urbana de carbono de 4 363 millones de toneladas de  $\text{CO}_2\text{e}$  al 2050, es decir, se emitirían 2 593 millones de toneladas de  $\text{CO}_2\text{e}$  adicionales para el 2050 con respecto al año base.

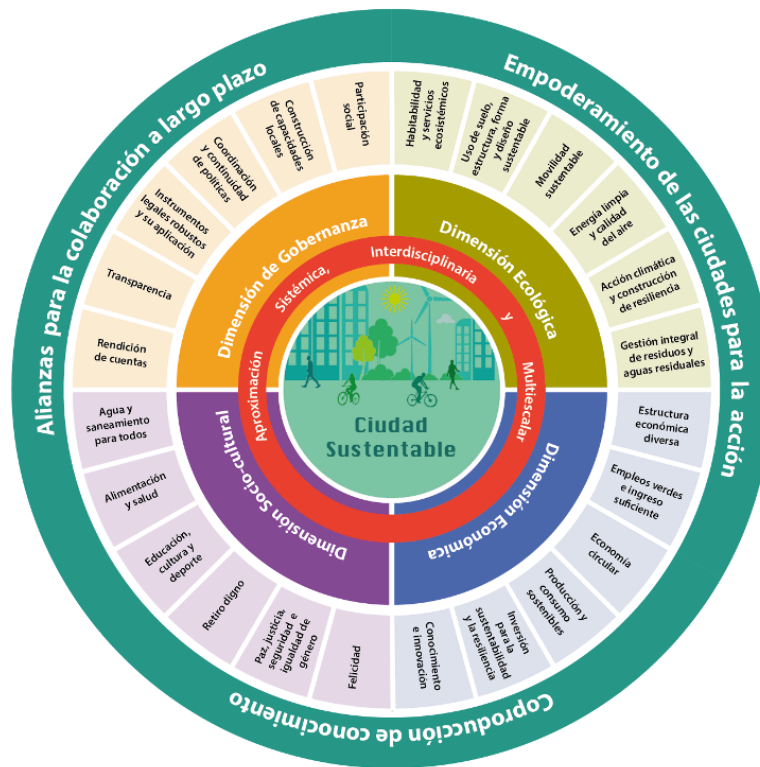
La acción para revertir el escenario tendencial descrito no es deseable sino obligada, además de estar alineada con múltiples agendas internacionales en curso y en las cuales México es partícipe, dígame la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la Nueva Agenda Urbana, el Marco de Sendai, o el

«Nuevo Pacto por la Naturaleza» de la Convención de Diversidad Biológica, entre otras.

Las sinergias y metas comunes de dichas acciones son visibles dado el carácter transversal y multidimensional de la transformación urbana, ésta entendida como un proceso de profundos cambios en la naturaleza de los sistemas urbanos —incluyendo la forma y estructura urbana—, y en consecuencia de la planeación y gestión, todo con el propósito de avanzar hacia escenarios normativa o idealmente más sustentables, incluyentes y justos.

Como se plantea en la figura 5, hay diversos puntos de entrada desde los cuales se puede maniobrar la mencionada transformación urbana, la cual cabe precisar, será diferente en cada ciudad pues ciertos aspectos o «puntos de entrada» tendrán mayor prioridad o aceptación social en algunas ciudades y no en otras; ello implica que, no existe receta única para la transformación urbana, sino diversos imaginarios sobre las rutas de acción posibles.

**Figura 5. Puntos de entrada para la transformación urbana sustentable y resiliente**



Fuente: elaboración propia, tomado de Delgado, 2020.

Cabe precisar que los puntos de entrada de cada dimensión descritos en la figura 5 pueden generar sinergias entre sí. Por ejemplo, la movilidad no-motorizada puede presentar cobeneficios en cuanto a la calidad del aire y la salud. La reducción, separación y gestión integral de residuos puede ayudar no solo a limitar los impactos ambientales y a la salud derivados de su mala disposición, sino también a disminuir el consumo de materiales «frescos», todo a la vez que se reduce el riesgo por inundación

ocasionado por la obstrucción del alcantarillado. La revegetación urbana y la conservación de áreas naturales protegidas urbanas o periurbanas puede mejorar el confort térmico que se verá cada vez más afectado con el cambio climático y la continua expansión del espacio construido, ello al mismo tiempo que se mejora la calidad del aire. La revegetación urbana permite embellecer los espacios públicos, pero también propiciar la recuperación de bosques, barrancas y ríos urbanos y periurbanos,

aumentando con ello los diversos servicios ecosistémicos que ofrecen: desde la captura de dióxido de carbono hasta la infiltración de agua.

Ahora bien, no todas las acciones generan sinergias positivas. Un ejemplo es la propia revegetación urbana que puede aumentar los problemas de salud si se eligen especies que, a pesar de ser aptas a los ecosistemas locales, incrementan las reacciones alérgicas. Otro ejemplo más es el de la densificación urbana que puede, por un lado, reducir el consumo de tierra, energía y materiales, pero cuando se planea de manera inadecuada puede ahondarlos, al mismo tiempo que acrecienta la exposición a riesgos (más población en un espacio reducido puede ser más difícil de desalojar en caso de algún desastre). Igualmente, la construcción de resiliencia urbana o de habilidades y capacidades para afrontar y adaptarse ante perturbaciones, así como para transformar aquellos aspectos que limitan la capacidad adaptativa actual y futura (como sin duda es la mala planificación y uso del suelo), puede propiciar el desarrollo de redundancias de capacidades, por ejemplo, para garantizar la generación de energía eléctrica aún en caso de eventuales huracanes u otro tipo de desastres. Sin embargo, ello puede debilitar los esfuerzos para aumentar la eficiencia urbana los cuales son centrales en la construcción de la sustentabilidad de largo plazo.

La eficiencia reduce la dependencia urbana a la importación de materiales y de energía al mismo tiempo que evita la degradación ambiental ocasionada por su extracción y procesamiento en otros lugares. Puede ser fomentada tanto en las etapas de producción, distribución y consumo a través del uso de tecnologías más eficientes, la implementación de prácticas ahorradoras —incluyendo el reúso y la reparación—, y una mejor planeación y uso del suelo. También puede propiciarse «cerrando ciclos», es decir al aprovechar los *flujos de salida* de las ciudades por medio del reciclaje de materiales y la captura y aprovechamiento de, por ejemplo, el gas metano para la generación de energía (el metano está presente tanto en aguas residuales como en la basura orgánica). Lo que en un sentido más amplio se califica como *economía circular* puede fomentar la generación de nuevos empleos, no sólo bajo modelos de negocios delineados por empresas privadas, sino también de empresas públicas o cooperativas (para una revisión detallada

del estado de situación de la economía circular en México, léase: Muñoz, Delgado y Díaz, en prensa).

Desde luego, para que se pueda hablar de un genuino avance hacia la sustentabilidad urbana, es preciso democratizar e informar, con conocimiento de frontera, la toma de decisiones para desde ahí (re)definir de manera más justa el acceso, gestión y aprovechamiento de los flujos de energía y materiales en las ciudades, de modo tal que se garantice el acceso universal a vivienda, energía y agua de calidad, saneamiento, transporte, servicios de salud, educación, cultura y deporte.

La redefinición de la función de tales flujos metabólicos urbanos, es decir de la lógica que está detrás y que determina en función de qué, en beneficio de quién y a qué costo se constituyen y distribuyen tales o cuales flujos, precisa además replantear la forma en la que se produce la ciudad y los encadenamientos temporales que se generan. Por ejemplo, la ampliación y construcción de más calles, avenidas y carreteras urbanas, genera un encadenamiento al uso del automóvil en el presente y el futuro próximo, lo cual es indeseable desde el punto de vista de la sustentabilidad urbana (que incluye la dimensión climática). De manera similar, los usos del suelo, la densidad y el diseño del espacio construido, definen las distancias de traslado y la energía necesaria para ello, incidiendo a su vez en los grados de exposición a contaminantes y a peligros de diversa índole, entre otras cuestiones como sin duda lo es también la segregación urbana.

En suma, la sustentabilidad urbana alude a un estado dinámico de operación dentro de parámetros deseables, por lo que su puesta en marcha es, al final de cuentas, resultado de la toma de decisiones, es decir de un proceso político que idealmente debería ser participativo, incluyente, transparente, eficiente, eficaz y socialmente justo. Aún más, dicho proceso habría de beneficiarse cada vez más del conocimiento de frontera, especialmente de aquel emanado de la coproducción basada en aproximaciones sistémicas, multiescalares, y multi- e interdisciplinarias. Y es que, si el conocimiento empleado es disciplinar, carente de una visión integral de lo urbano, los imaginarios y las soluciones serán, en el mejor de los casos parciales e insuficientes; en el peor de los casos, contraproducentes.

Además, no debe olvidarse que las ciudades y consecuentemente todo intento de transforma-

ción urbana, se inserta, es impactado, e influye dinámicas subnacionales, nacionales y globales; de ahí que la acción local necesariamente deba visualizarse de cara a lo que se haga o se deje de hacer en esas otras escalas, sea para generar sinergias o colaboraciones que promuevan un genuino cambio de paradigma.

## Conclusiones

La transición urbana sustentable, incluyente y cada vez más justa en México es aún incipiente. No es una política generalizada a pesar de las intenciones y reconocidos esfuerzos de ciertas ciudades y, en su caso, de los gobiernos locales que las gestionan, como por ejemplo la Ciudad de México.

Con sus contadas excepciones, la escasa planeación integral con visión de largo plazo, las limitadas capacidades humanas, materiales y presupuestales para la adecuada gestión urbana, el incumplimiento de la regulación vigente, la carencia de sistemas robustos de movilidad sustentable y la consecuente prevalencia del automóvil privado, la especulación urbana, la erosión de los servicios ambientales, la inadecuada gestión de los residuos sólidos y de las aguas residuales, así como la informalidad y las desigualdades imperantes —incluyendo las de gé-

nero—, son algunos de los principales retos que se habrán de atender a la brevedad (para un diagnóstico del caso de la ZMVM, véase: Delgado et al, 2019 y Delgado y Mac Gregor, 2020).

De hecho, el *Índice de Ciudades Sostenibles 2018* que analiza el estado de situación de 59 zonas metropolitanas del país que alojan al 57% de la población y producen el 76% de la riqueza, advierte que en lo que respecta al objetivo 11 de la *Agenda 2030* sobre «ciudades y comunidades sostenibles» (<http://agenda2030.mx/#/home>), sólo 12 zonas metropolitanas presentan buenos avances mientras que el resto están lejos o muy lejos de lograr dicho objetivo. Tales avances no suponen que sean ya ciudades sustentables, mucho menos que se esté construyendo una transformación urbana; tan sólo significan que se están haciendo esfuerzos significativos.

La medición de tal objetivo 11 comprende aspectos relacionados a servicios básicos, vivienda, transporte, crecimiento de la mancha urbana, pérdida de áreas de valor ambiental, densificación, áreas verdes, calidad del aire y gestión de residuos sólidos (CIDE et al, 2018). Si se mira la evaluación del resto de objetivos de la mencionada *Agenda 2030*, la calificación más alta para las 59 zonas metropolitanas del país fue de 58.31 sobre 100 y la más baja de 37.71 sobre 100, es decir, prácticamente todas

Fotografía: ©scharfsinn86 | AdobeStock



reprueban. Ante tal situación es claro que los esfuerzos y retos por delante son mayores por lo que no hay tiempo que perder. La acción se requiere ahora y todos podemos jugar un rol central desde nuestros propios espacios y capacidades.

El gobierno, en sus tres órdenes (federal, estatal y local) habrá de replantear la planeación, gestión y regulación de las ciudades, comenzando por la de sus propios edificios y espacios de trabajo, sus inversiones y compras, y sus esquemas para la participación social y de rendición de cuentas.

Las empresas, nacionales y extranjeras, habrán de transformar su modelo de negocios hacia aquellos que buscan la eficiencia y sustentabilidad de sus procesos productivos, incluyendo cuestiones de responsabilidad extendida, esto es, que se responsabilicen del desecho, por ejemplo, de los empaques y recipientes de los productos que venden para que éstos sean reciclados (por esas mismas empresas u otras dedicadas a ello). Más aún, los nuevos modelos de negocios habrán de propiciar la mejora de las condiciones de vida en general, pero en especial de los más pobres, por lo que la emergencia de cooperativas o esquemas similares que busquen atender las necesidades de empleo y de otra índole serán cada vez más relevantes. Al respecto ya se han puesto en marcha en diversas ciudades del país —y del mundo— cooperativas y redes de productores urbanos o periurbanos de alimentos, muchos de ellos previamente sin empleo y por tanto sin ingresos. Tales redes o cooperativas, al pensarse como vías para fomentar la economía solidaria, ofrecen productos frescos, sanos y a un precio justo. El apoyo a tales negocios habrán de fortalecerse cada vez más, ello sin olvidar los correspondientes criterios de sustentabilidad.

Las universidades y espacios de producción de conocimiento habrán de transversalizar la formación en aspectos de sustentabilidad, sea desde la ecología, las ciencias ambientales, la ecología política o la economía ecológica, todas áreas de conocimiento que desde distintos enfoques analizan y buscan soluciones ante la problemática socioambiental que vivimos. Además, tendrán que trabajar más con tomadores de decisiones, el sector privado y la sociedad civil de tal suerte que se coproduzcan soluciones informadas y con mayores posibilidades de ser exitosas. La incidencia que de entrada pueden tener los diversos campus universitarios con su entorno inmediato es un primer paso para la consolidación de acciones locales para la sostenibilidad.

Por su parte, la sociedad en general habrá de modelar sus prácticas de consumo —en la medida de sus posibilidades— y modificar sus hábitos para en su caso apostar por vías más sustentables, pero también justas, un contexto en el que los jóvenes son especialmente importantes pues habrán de dar continuidad a los avances logrados, o bien, hacerse cargo de los impactos derivados de los retrocesos que se verifiquen en los próximos años.

En el marco de la acción y recuperación ante los efectos de la pandemia de covid-19 (Delgado y López, 2020), la cuestión climática-ambiental, lejos de ser una cuestión secundaria, es doblemente importante pues de fomentarse el encuentro de ambas agendas, se podría potenciar al máximo las capacidades limitadas que se tienen en un contexto de crisis. En este sentido es que se plantea el llamado que han hecho diversos alcaldes de C40 para «no regresar a las prácticas habituales» (*business as usual*), para en cambio más bien apostar por una nueva normalidad para las ciudades y sus economías (C40, 2020). Las medidas propuestas se articulan esencialmente alrededor de las rutas de recuperación económica, las medidas para fortalecer la interfaz ciencia-política para la comunicación y toma de decisiones en tiempos de covid-19, y los paquetes fiscales y de incentivos para la transición urbana sustentable, de bajo carbono y resiliente, contexto en el que la inclusión social es primordial, y por tanto el reconocimiento en el diseño de las políticas públicas tanto de la pobreza urbana, como de la informalidad en toda su diversidad y complejidad (Banks, Lombard y Mitlin, 2020). La acción, inmediata y coordinada no puede esperar porque la emergencia climática-ambiental, como bien advierten Hepburn *et al.* (2020), es como la emergencia covid-19 pero más lenta y grave. Las posibilidades de cambio son factibles y requerirán no sólo de voluntad política y liderazgos, sino de la acción de todos, es decir, de la concurrencia de necesidades, capacidades, imaginarios y prácticas diferenciadas.

## Bibliografía

Bai, Xuemei., Dawson, Richard., Ürge-Vorsatz., Delgado, Gian C., Salisu B, Aliyu., Dhaka, Shobhakar., Dodman, David., Leonardsen, Lykke., Masson-Delmotte, Valérie., Roberts, Debra., y Schultz, Seth. (2018). Six



- research priorities for cities and climate change. *Nature*. 555(7694), 23-25.
- Banks, Nicola, Lombard, Melanie y Miltlin, Diana. (2020). Urban informality as a site of critical analysis. *The Journal of Development Studies*. 56(2), 223-238.
- C40. 2020. «No Return to Business as Usual»: Mayors Pledge on COVID-19 Economic Recovery. Recuperado de [https://www.c40.org/press\\_releases/taskforce-principles](https://www.c40.org/press_releases/taskforce-principles).
- Delgado Ramos, Gian Carlo. (2020). Covid-19 y sustentabilidad urbana. *Nexos – Crisis ambiental*. Julio 27. Recuperado de <https://medioambiente.nexos.com.mx/?p=582>.
- Delgado Ramos, Gian Carlo y López García, David. (2020). *Las ciudades ante el COVID-19: nuevas direcciones para la investigación urbana y las políticas públicas*. México: Plataforma de Conocimiento para al Transformación Urbana / International Network for Government Advice. Recuperado de [https://zenodo.org/record/3894075/files/Ciudades %20ante %20 el%20COVID-19.pdf?download=1](https://zenodo.org/record/3894075/files/Ciudades%20ante%20el%20COVID-19.pdf?download=1).
- Delgado Ramos, Gian Carlo y Mac Gregor Gaona, María Fernanda. (2020). *Índice de capacidades institucionales climáticas-ambientales locales, ICI-CLIMA 2019: el caso de la Zona Metropolitana del Valle de México*. México: CDMX, PCTU-IDRC-INGSA. pp. 47.
- Delgado Ramos, Gian Carlo., Mac Gregor Gaona, M.F., Ortega León, R., y De Luca Zuria, A. (2019). *Hacia una agenda coordinada de acción climática – ambiental para la Zona Metropolitana del Valle de México*. CDMX, México: Plataforma de Conocimiento para la Transformación Urbana.
- DOF – Diario Oficial de la Federación. (2014). Programa Especial de Cambio Climático 2014 – 2018. *Diario Oficial de la Federación*. México, 28 de abril. Recuperado de <http://www.sectur.gob.mx/wp-content/uploads/2014/09/PECC-2014-2018.pdf>.
- EEA – European Environment Agency. (2001). *Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896-2000*. Copenhagen, Dinamarca: EEA. Recuperado de [https://www.eea.europa.eu/publications/environmental\\_issue\\_report\\_2001\\_22/Issue\\_Report\\_No\\_22.pdf/view](https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22/Issue_Report_No_22.pdf/view).
- Florczyk, Aneta J., Corbane, Christina., Ehrlich, Daniele., Freire, Sergio., Kemper, Thomas., Maffenini, Luca., Melchiorri, Michele., Pesaresi, Martina., Politis, Panagiotis., Schiavina, Marcello., Sabo, Filip., y Zanchetta, Luigi. (2019). *GHSI Data Package 2019*. Office of the European Union. Luxemburgo. DOI: 10.2760/062975. Recuperado de <https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/CFS.php>.
- Hepburn, C., O’Callaghan, B., Stern, N., Stiglitz, J., y Zenghelis, D. (2020). *Will COVID-19 fiscal recovery packages accelerate or retard progress on climate change?* Oxford, Inglaterra: University of Oxford. Recuperado de <https://www.smithschool.ox.ac.uk/publications/wpapers/workingpaper20-02.pdf>.
- Huang, K., Li, X., y Seto, K.C. (2019). Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050. *Environmental Research Letters*. 14(2019), 114037.
- IPCC. 2018. *Global Warming of 1.5°C*. IPCC. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/sr15/>
- ipcc. 2014. AR5 Synthesis Report – Climate Change 2014. IPCC. Cambridge, Inglaterra: Cambridge University Press. Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
- IRP – UNEP. (2018). *The Weight of Cities. Resource requirements of future urbanization*. Swilling, M., Hajer, M., Baynes, T., Bergesen, J., Labbé, F., Musango, J.K., Ramaswami, A., Robinson, B., Salat, S., Suh, S., Currie, P., Fang, A., Hanson, A. Kruit, K., Reiner, M., Smit, S., Tabory, S. Reporte del International Resource Panel. Nairobi, Kenia: UNEP – IRP.
- Johnson, G y Lyman, J.M. (2020). Warming trends increasingly dominate global ocean. *Nature Climate Change*. 10, 757 -761.
- Muñoz-Meléndez, Gabriela., Delgado-Ramos, Gian Carlo., y Díaz-Chavez, Rocío. (2020). Circular Economy in México, en: Gosh S. K. (ed.). *Circular Economy: Recent Trends in Global Perspective*. Kolkata, India: Springer Nature Publisher. En prensa.
- NOAA. (2020). *Trends in Atmospheric Carbon Dioxide*. National Oceanic and Atmospheric Administration. Recuperado de <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- OECD. (Sin fecha). *The long view: scenarios for the world economy to 2060*. Base de datos. Recuperado de <http://www.oecd.org/economy/growth/scenarios-for-the-world-economy-to-2060.htm>.
- Peters, G.P., Andrew, R.M., Candell, J.G., Friedlingstein, P., et al. (2020). Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies. *Nature Climate Change*. 10, 2-10.
- Prein, A. y Hyeemsfield, A.J. (2020). Increased melting level height impacts surface precipitation phase and intensity. *Nature Climate Change*. 10, 771-776.
- SEDATU, CONAPO e Inegi. (2018). *Sistema Urbano Nacional 2018*. CDMX, México. Recuperado de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400771/SUN\\_2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400771/SUN_2018.pdf).
- UNDESA. (2019). *Revision of the World Urbanization Prospects 2018*. Base de datos. Recuperado de <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>.
- UNEP. (2018). *Global Environmental Outlook 6*. Nairobi, Kenia: UNEP. Recuperado de <https://www.unenvironment.org/resources/global-environment-outlook-6>.

# La opinión pública frente al cambio climático en México

## Una aproximación al caso del agua en asentamientos urbanos

Fotografía: ©lavizzara | AdobeStock

### Introducción

56

**E**L AGUA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO SON DOS EJES TRANSVERSALES para cualquier programa de gobierno que promueva el desarrollo sostenible. La existencia de todas las especies y los ecosistemas dependen de garantizar su acceso al agua. A su vez, el cambio climático de origen antrópico, generado por el aumento de Gases de Efecto Invernadero (GEI), amenaza la continuidad del planeta tal y como lo conocemos en la actualidad, incluida la de nuestra propia especie humana.

Aunque el ciclo del agua es uno de los procesos naturales que más se ha visto afectado por el cambio climático, el vínculo entre ambos ejes no se ha visto reflejado de manera contundente en los principales instrumentos internacionales que ha logrado acordar la comunidad internacional para desarrollar medidas de adaptación y mitigación al cambio climático. Me refiero específicamente al Acuerdo de París y el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), estimó que debido a la cantidad de GEI presentes en la atmósfera,



Doctor Itzkuauhtli  
Zamora Saenz

Investigador "C". Dirección General de Análisis Legislativo. Doctor en Ciencias sociales, por (Flasco-México), maestro en Antropología social y licenciado en Sociología, ambos por la UNAM.

 @itzaben

 itzkuauhtli.zamora@senado.gob.mx

El autor agradece a Jennifer López Cedillo, prestadora de servicio social en la Dirección General de Análisis Legislativo, su apoyo en la elaboración de la presente investigación.

resulta prácticamente irreversible que para el año 2030 superemos en al menos 1.5 °C la temperatura mundial con respecto a lo que se registraba en niveles preindustriales (IPCC, 2018). Este incremento de la temperatura se haría realidad aún cuando todos los países que firmaron el Acuerdo de París cumplan con sus Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional, situación que constituye una gran preocupación, ya que anticipa que los efectos del cambio climático resultan irreversibles o que al menos serán de larga duración.

La comunidad científica ha afirmado que el cambio climático afecta la cantidad, calidad y disponibilidad del agua, lo cual constituye un desafío enorme para cumplir con el derecho humano al agua y al saneamiento,<sup>1</sup> así como para alcanzar las metas establecidas en el sexto Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) referente a la importancia de garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el acceso universal al servicio de saneamiento.

El derecho humano al agua y al saneamiento fue incorporado en el artículo cuarto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) en el año 2012, de manera que nuestra Carta magna mandata que:

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.

Desde aquella reforma constitucional surgió el debate referente a la necesidad jurídica de reglamentar el derecho humano al agua y al saneamiento, mediante una nueva Ley General de Agua que sustituya la Ley de Aguas Nacionales vigente. Este debate parece estar en una etapa clave debido al interés y la relevancia que ha adquirido el tema en la LXIV Legislatura del Congreso en la Unión. No obstante, la importancia que tiene el agua como un recurso indispensable para cualquier actividad humana y para la reproducción de todos los ecosistemas, au-

menta la dificultad de conciliar los múltiples intereses que hay en torno a su uso y aprovechamiento. Por esta razón, es importante que la normatividad se derive de una minuciosa discusión basada en la mejor información disponible sobre el estado que guarda el recurso en nuestro país. La nueva legislación debe basarse en la evidencia existente en torno a su disponibilidad y calidad para tomar decisiones que permitan un modelo de gestión integrado y sostenible. En ese sentido, si no se toma en cuenta la variable del cambio climático en la nueva legislación sobre el destino del agua en México, no se estaría incluyendo esta importante dimensión del contexto actual que requiere políticas robustas para mitigar y adaptarnos a los múltiples efectos de dicho fenómeno.

El objetivo del presente artículo consiste en revisar algunos indicadores que permitan aproximarnos al estado que guarda el tema del cambio climático en la opinión pública de nuestro país. Con esta información estaremos en condición de saber la preocupación ambiental que tiene la población sobre este fenómeno global a fin de diseñar una estrategia que permita fortalecer o impulsar este tema en la agenda pública ciudadana; de lo contrario, resultará muy complicado que las innovaciones institucionales, sean jurídicas o de política pública, estén acompañadas de la transformación de prácticas y hábitos sociales enfocados en una mayor sostenibilidad hídrica y ambiental. Para delimitar el abordaje, el artículo se centrará en la relación entre agua y cambio climático en el ámbito territorial de los asentamientos urbanos.

Por esta razón, en la primera parte del artículo se presentarán de manera sintética los principales hallazgos del Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020 (UNESCO & ONU, Agua, 2020) sobre la relación entre agua y cambio climático en el ámbito territorial de las ciudades. Posteriormente, se recuperarán indicadores de opinión pública en México sobre el cambio climático, procurando destacar su relación con la percepción social que hay en torno a los servicios de agua potable y de saneamiento. Se concluye enfatizando los principales hallazgos que se identificaron a partir de revisar dichos indicadores.

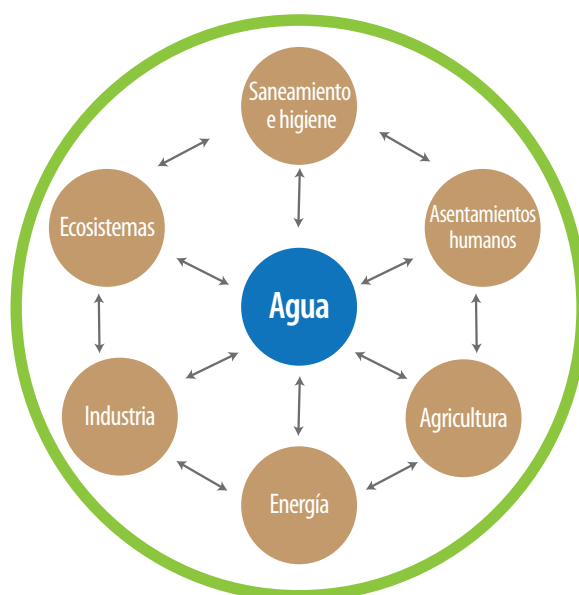
1 La Asamblea General de las Naciones reconoció en el año 2010 que el acceso universal al agua y al saneamiento es un derecho humano básico para la calidad de vida del ser humano. Al respecto, véase: <https://bit.ly/3hNwEkw>

## Agua, cambio climático y asentamientos urbanos

En el último siglo se ha incrementado notablemente la demanda de agua dulce, principalmente por el crecimiento demográfico y por un modo de producción basado en el consumo insostenible. De acuerdo con el último Informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (UNESCO & ONU, Agua, 2020), se

estima que el consumo de agua se ha incrementado seis veces en los últimos 100 años y sigue incrementándose a un ritmo de 1 % anual. La mayor demanda de agua tiene repercusiones en diferentes ámbitos socioeconómicos como se muestra en la figura 1, siendo la agricultura la actividad humana que más consume agua a nivel mundial.

Figura 1. Interacciones entre agua y actividades socioeconómicas



58

Fuente: Adaptación del esquema presentado en UNESCO & ONU, Agua, 2020: p. 14

El cambio climático tiene una fuerte incidencia en la disponibilidad, cantidad y calidad del agua. Se estima que será más evidente la escasez del recurso en zonas áridas y comenzarán a observarse problemas en regiones del planeta que no habían tenido problemas de disponibilidad. Es importante subrayar que estos problemas están relacionados no solamente con el aumento de fenómenos meteorológicos extremos, sino también por el incremento de la demanda y por un manejo insostenible del agua. Por otra parte, el cambio climático afecta la calidad del recurso debido al incremento en la temperatura en los cuerpos hídricos superficiales,

fenómeno que disminuye la cantidad de oxígeno disuelto y afecta negativamente la autodepuración de los sistemas de agua dulce.<sup>2</sup> A su vez, el aumento

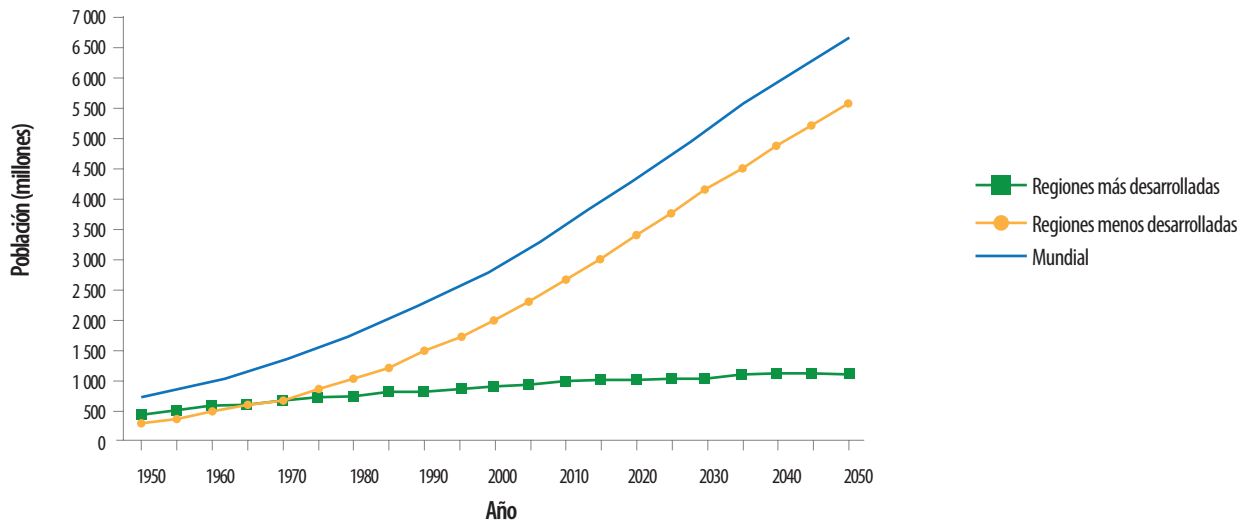
<sup>2</sup> En un evento organizado por el Instituto Belisario Domínguez varias ponencias revelaron que el incremento de la temperatura tiene graves afectaciones en los ecosistemas marinos. Entre los que se han identificado recientemente se encuentran el blanqueamiento de corales y la acidificación marina, los cuales están avanzando de manera muy rápida en el Mar Caribe y en el Mar de Cortés, respectivamente. Véase: Zamora Saenz, Itzkauhtli & Mora Escoto, Cynthia (Ed.) (2020). Los océanos y los mares en México. Retos y oportunidades para un desarrollo sostenible. *Cuaderno de investigación No. 63*. Instituto Belisario Domínguez del Senado de la República. Disponible en: <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/4837>

de precipitaciones extraordinarias aumentará la contaminación de lagos, ríos y mares debido a que las inundaciones arrastrarán con mayor fuerza hacia ellos, tanto residuos sólidos como aguas residuales sin tratar.

A partir del año 2007, más de la mitad de la población mundial habita en núcleos urbanos, tendencia que se mantendrá en las próximas dé-

cadasy con mayor velocidad en países de ingresos medios y bajos (véase gráfica 1). De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas, actualmente las ciudades producen 70% de las emisiones de carbono y su rápido crecimiento está representando una fuerte presión sobre diferentes ecosistemas, entre ellos los cuerpos superficiales y subterráneos de agua dulce (ONU, 2020).

**Gráfica 1. Poblaciones urbanas estimadas y proyectadas del mundo, las regiones más desarrolladas y las regiones menos desarrolladas, 1950-2050**



Fuente: elaboración propia con base en ONU, 2018: *World Urbanization Prospects*. Disponible en: <https://population.un.org/wup/Download/>.

El Informe de la UNESCO establece que los asentamientos urbanos enfrentarán escenarios muy contrastantes derivados de los efectos del cambio climático. Por un lado, se anticipa un mayor impacto de lluvias torrenciales y por el otro, también se pronostica el incremento de la temperatura y de periodos de sequía. Dicho contraste, dificultará la resiliencia urbana que puedan promover los gobiernos locales para responder de la mejor manera posible ante ambos desafíos.

El incremento de las lluvias torrenciales generará una mayor presión sobre la capacidad instalada en cuanto al servicio de drenaje y alcantarillado, lo cual se verá reflejado en daños en esta infraestructura resultado de fuertes inundaciones. A su vez, los desbordamientos aumentarán la probabilidad

de una mayor contaminación de cuerpos de agua por el arrastre de basura y de aguas negras, además de las consecuencias negativas que esto tendría en la salud de la población y en el patrimonio de las zonas residenciales que se vean afectadas.<sup>3</sup> Estos efectos pueden ser más graves en los asentamientos urbanos ubicados en las zonas costeras, ya que serán más vulnerables ante el incremento del

3 Un ejemplo ilustrativo sobre este proceso aconteció el pasado 16 de septiembre del 2020 en una lluvia torrencial que se registró en la Ciudad de México. La precipitación se consideró «atípica», ya que solo se había suscitado seis veces en los últimos 20 años. El agua alcanzó los 100 milímetros acumulados en un día y generó afectaciones principalmente en las alcaldías de Iztapalapa, Coyoacán, Xochimilco y Tlalpan. Las autoridades capitalinas contabilizaron más de 650 viviendas afectadas.

nivel de mar, por lo que aumentará su propensión a tener inundaciones.

Para el año 2015, las 16 zonas metropolitanas ubicadas en zonas costeras de México tenían una población superior a los 10 millones de personas (10 678 219), lo que representa 8% de la población total de nuestro país (véase cuadro 1). El crecimiento de la población que habita en municipios costeros fue de 18.53% durante el periodo 2000-2010,

siendo más notable en aquellos considerados urbanos, debido al crecimiento de sus actividades económicas mercantiles y turísticas (CIMARES, 2011). En muchos casos, el proceso de urbanización de las zonas costeras se ha hecho en detrimento de ecosistemas como humedales y manglares, lo cual ha incrementado la vulnerabilidad de estas ciudades a marejadas ciclónicas y otros fenómenos meteorológicos de fuerte intensidad.

**Cuadro 1. Población que radica en zonas metropolitanas costeras en México, 1990-2015**

Zona metropolitana	Población total					
	1990	1995	2000	2005	2010	2015
<b>Total</b>	<b>6 065 179</b>	<b>7 243 696</b>	<b>7 148 190</b>	<b>8 902 716</b>	<b>10 345 397</b>	<b>10 678 219</b>
ZM de Tijuana	747 381	1 038 188	1 352 035	1 483 922	1 751 430	1 840 710
ZM de Mérida	629 506	738 545	873 423	897 740	1 053 519	1 143 041
ZM de Mexicali	601 938	696 034	764 604	855 962	936 826	988 417
ZM de Tampico	648 598	705 302	746 417	803 196	859 419	916 854
ZM de Acapulco	653 973	754 782	791 558	741 234	863 431	886 975
ZM de Veracruz	551 494	641 518	708 400	741 234	834 256	915 213
ZM de Villahermosa	437 567	533 598	600 580	644 629	755 425	823 213
ZM de Cancún	187 431	320 446	431 128	586 288	677 379	763 121
ZM de Matamoros	303 293	363 487	418 141	462 157	489 193	520 367
ZM de Poza Rica	411 713	431 034	467 258	428 069	513 518	538 206
ZM de Coatzacoalcos	271 825	300 025	307 724	321 182	347 257	365 026
ZM de Puerto Vallarta	151 288	196 953	244 536	304 107	379 886	425 890
ZM de Guaymas	175 109	183 232	180 316	184 816	203 430	214 223
ZM Tehuantepec	123 789	142 793	162 853	150 281	182 870	194 792
ZM de Minatitlán	110 481	119 051	323 389	123 089	356 137	372 381
ZM de Tecomán	59 793	78 708	127 863	118 930	141 421	152 790

Fuente: actualización del cuadro presentado en CIMARES (2011, p. 10).

Por otro lado, el aumento de los periodos de sequía resultará en una mayor dificultad para que las ciudades cuenten con un suministro de agua seguro. La disminución de las precipitaciones tendrá efectos en el nivel y recarga de las presas que son utilizadas en el sistema de abastecimiento de agua potable lo cual, sumado al incremento poblacional en asentamientos urbanos, constituirá un reto para hacer realidad el derecho humano al agua. Esta crisis será más evidente en ciudades cuyo suministro

depende de cuencas externas y lejanas, así como en las ciudades fronterizas que comparten una fuente de agua en común.

La Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos (PBL) estima que para el año 2050, aproximadamente 40% de la población mundial vivirá en zonas bajo estrés hídrico severo, es decir, en condiciones en donde la disponibilidad de agua será insuficiente, ya sea por la disminución de la fuente o por el aumento de la demanda (PBL, 2014). En ese mismo

estudio se señala que para dicho año disminuirá la disponibilidad de agua dulce en al menos 10% para más de 570 ciudades, lo que afectaría alrededor de 685 millones de personas. Esta estimación es muy relevante, ya que el Informe de la UNESCO establece que en el caso de México las temporadas de sequía incrementarán la escasez de agua en las regiones áridas y semiáridas. Por lo tanto, las ciudades más importantes ubicadas al norte del país son las que probablemente tengan una mayor escasez de agua por temporadas de sequía más prolongados.

Otro fenómeno característico de nuestro país (y de la región latinoamericana en general) consiste en la desigualdad económica que también se ve reflejada en el acceso al agua y al saneamiento. En los asentamientos irregulares y en las zonas de mayor pobreza urbana es notorio que aumenta la población que carece de un suministro de agua seguro.<sup>4</sup> Esta falta de servicio de agua ha sido especialmente preocupante durante la pandemia de covid-19 porque este sector de la población no ha tenido las condiciones de higiene necesaria que permita un lavado de manos constante para evitar el contagio. La población en situación de pobreza se encuentra más vulnerable a los efectos del cambio climático. Por ejemplo, este sector de la población es el que se ubica de manera irregular cerca de planicies de inundación de ríos y lagos, así como en zonas inestables en las laderas de montañas, de manera que sus viviendas tienen un riesgo muy alto de recibir las consecuencias de inundaciones, desgajamientos y deslizamiento de tierra. Es muy importante recordar que la sequía y la pobreza han generado movimientos migratorios intensos, los cuales se han hecho particularmente notables en los últimos años a partir de las caravanas migratorias provenientes de la región centroamericana rumbo a los Estados Unidos de América. Desde luego que los efectos del cambio climático no son los únicos factores detrás de este éxodo, también están los graves problemas de violencia e inseguridad pública.

Para identificar con mayor claridad la interrelación dinámica entre agua y cambio climático en asentamientos urbanos, falta agregar de manera sucinta la manera en que los sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento contribuyen al cambio

4 De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) un servicio de agua potable gestionado de forma segura se caracteriza porque se pueda beber en una fuente ubicada en la vivienda, que esté libre de contaminación y esté disponible en todo momento para la persona que lo requiera (OMS, 2019).

climático de origen antrópico. Al respecto, se ha señalado que la principal emisión de GEI por el funcionamiento de ambos sistemas está relacionada con el gasto energético que implican los trasvases de agua potable y la infraestructura empleada para expulsar las aguas residuales afuera de la ciudad, así como por la falta de tratamiento de estas últimas. En el caso del agua importada por trasvase de cuencas, la cantidad de energía utilizada por estos sistemas es muy alta por la distancia geográfica que recorre el agua tanto para importarla a la ciudad como para expulsarla en su forma residual; además, se requiere vencer los obstáculos de altitud que en la mayoría de las ocasiones impiden que el agua se pueda conducir exclusivamente mediante gravedad. Por el contrario, estos sistemas de bombeo cada vez requieren de mayor energía para operar en la medida en que se agrava el fenómeno de subsidencia (hundimientos diferenciales) originado por la sobreexplotación del acuífero o bien cuando la ciudad receptora del agua se encuentra a una mayor altitud de la cuenca exportadora. Este es el caso del sistema Cutzamala que aporta 15 m<sup>3</sup>/s al Valle de México, principalmente a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y a la Zona Metropolitana de Toluca. El Sistema bombea el agua desde una altura de 1 600 metros sobre el nivel del mar (msnm) para llegar hasta un punto máximo de 2 702 msnm. Para ello se requiere un consumo de energía de 2 200 millones de kWh al año, lo que representa el 80% del costo total de la importación de agua de dicha cuenca (Banco Mundial, 2015).

En cuanto al agua residual, el Informe de la UNESCO indica que cerca del 80% del agua residual que se genera a nivel mundial se vierte directamente en otros ecosistemas hídricos sin previo tratamiento, situación que afecta severamente el equilibrio ecológico de los mismos debido a la profunda contaminación que genera esta mala práctica. Incrementar el tratamiento de agua residual, permitiría su reuso para fines no consuntivos, lo que incidiría favorablemente en disminuir la extracción de agua potable de fuentes superficiales y subterráneas.

Finalmente, como ya se señaló líneas arriba, el crecimiento urbano desordenado ha generado que la ciudad se expanda sobre suelo de conservación y otros ecosistemas que son de enorme relevancia no solo por la captura de carbono, sino también para la propia captación de agua y la prevención de inundaciones como son los bosques, los humedales y los manglares.

## La opinión pública frente al cambio climático

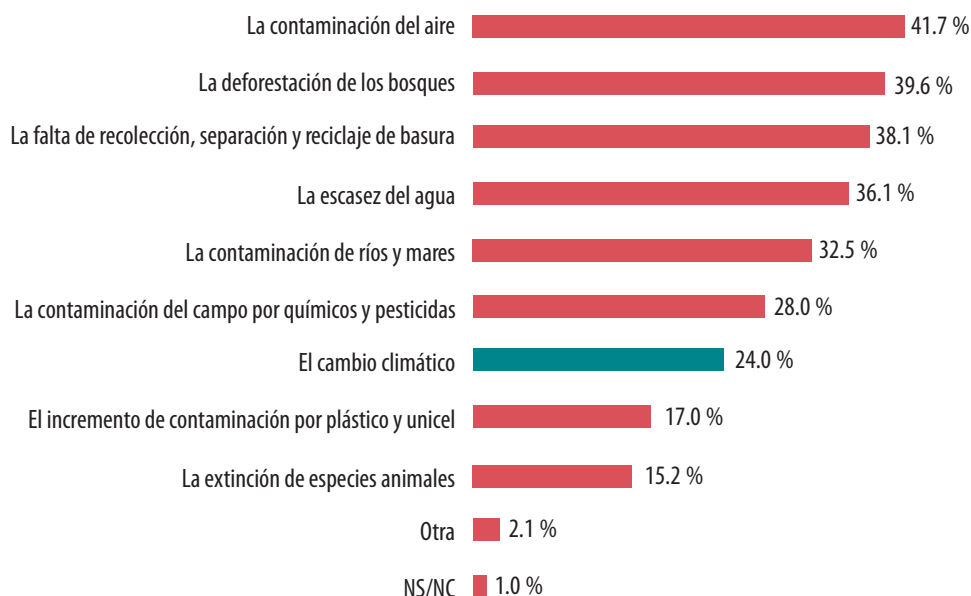
En este apartado se presentarán indicadores referentes al cambio climático, así como al servicio de agua y alcantarillado en ciudades. Mientras que el primer indicador está claramente relacionado con la percepción que tiene la población con respecto al cambio climático, los otros indicadores permiten aproximarse a la calidad de dichos servicios para conocer su vulnerabilidad ante el fenómeno global.

En la Encuesta de la Cultura de la legalidad y agenda legislativa elaborada por el Instituto Belisario Domínguez del Senado de la República en el año 2019, se plantearon los tres problemas más importantes que deberían atenderse con cierta urgencia mediante leyes más completas y

estrictas.<sup>5</sup> En la gráfica 2, se aprecia que los primeros tres lugares corresponden a la contaminación del aire (41.7% de la población encuestada), la deforestación de los bosques (39.6%) y a la falta de recolección, separación y reciclaje de basura (38.1%). Los dos primeros son reconocidos como causas importantes que agravan el problema del cambio climático, aunque propiamente este problema ocupó el séptimo lugar en las respuestas con 24 por ciento.

5 Los resultados generales de la encuesta se pueden consultar en el siguiente micrositio de la biblioteca digital del Instituto Belisario Domínguez: <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/4710>.

**Gráfica 2. ¿Cuáles serían los tres problemas ambientales que se deben atender con mayor urgencia mediante leyes más completas y estrictas?**



Fuente: Cultura de la legalidad y agenda legislativa, 2019 | n=1 200 | margen de error =± 2.8 %. La gráfica no suma 100 porque la persona podía elegir hasta tres opciones de respuesta.

Es importante destacar de la gráfica 2 que el problema de la escasez del agua (en el que influye el cambio climático), ocupa el cuarto lugar con 36.1 %

de la población encuestada. En otras palabras, se puede asegurar con base en los resultados de esta encuesta que prácticamente una de cada tres per-

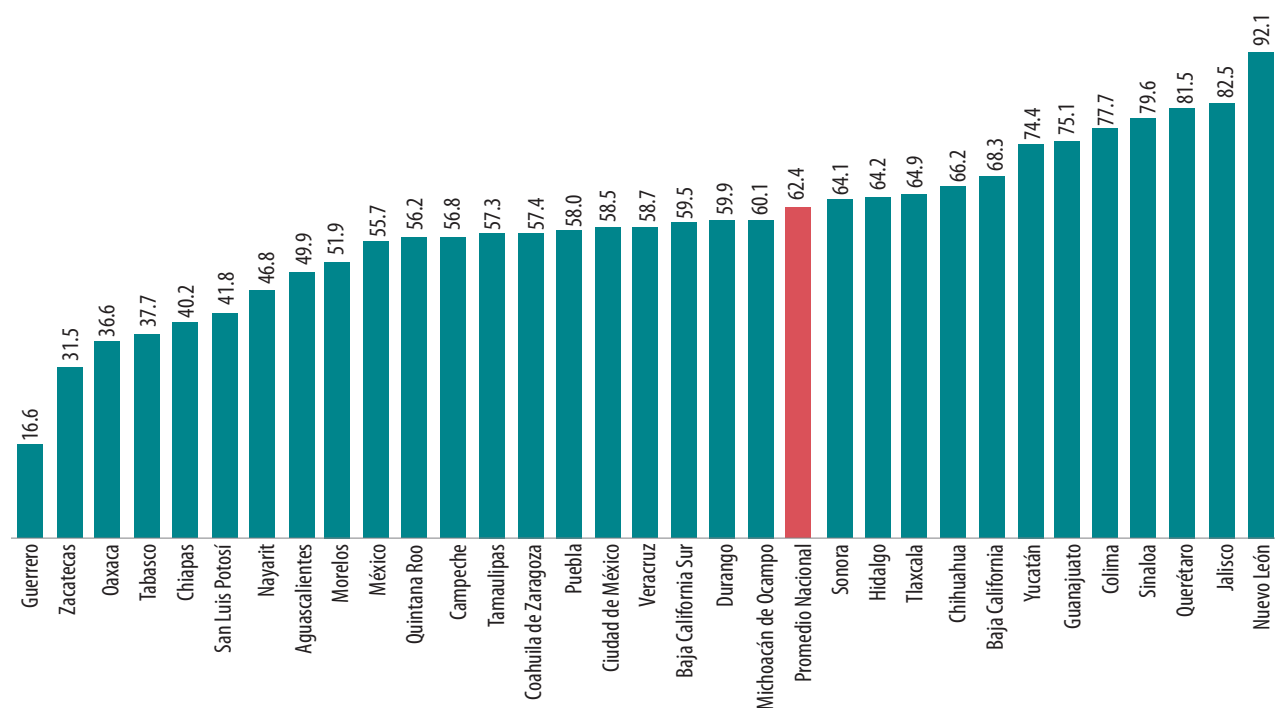


sonas mencionó que un problema ambiental importante es la escasez del agua. Este resultado es revelador ya que, de acuerdo con el Catálogo Nacional de indicadores del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, en el año 2015, 95.3% de la población mexicana tiene acceso al servicio de agua entubada. Es importante hacer notar que este indicador es un promedio nacional que incluye a la población que tiene agua entubada dentro de la vivienda o dentro del predio, así como agua de hidrante público o de otra vivienda aledaña. En otras palabras, el indicador no solamente incluye a las personas que tienen agua al abrir un grifo en su vivienda.

Ahora bien, es más importante relacionar la problemática de la escasez del agua con la regularidad del suministro, ya que podemos partir de la hipótesis siguiente: las personas que tienen acceso al agua potable en su vivienda son las que pueden resultar sensibles a la escasez porque pueden darse cuenta de la irregularidad en el suministro.

Al respecto, resulta de gran utilidad recuperar el indicador referente a la frecuencia del suministro de agua potable que contiene la Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental (ENCIG) del Inegi (2019). Como se puede apreciar en la gráfica 3, 62.4% de la población encuestada a nivel nacional señaló que el suministro de agua potable es constante, pero el comportamiento estatal es muy contrastante: Nuevo León, Jalisco y Querétaro destacan como entidades en las cuales el suministro es superior al 80 por ciento. Por el contrario, es notable cómo en el estado de Guerrero solamente 16.6% de las personas encuestadas afirmaron que el suministro es constante. Otro caso interesante es el de Zacatecas, ya que es uno de los estados con los valores más bajos en cuanto al suministro constante (31.5%), aunque en el indicador de acceso al agua entubada se encontraba por arriba del promedio nacional, con un valor de 97.6 por ciento.

**Gráfica 3. Porcentaje de población de 18 años y más que refirió que el suministro de agua potable en su ciudad es constante**

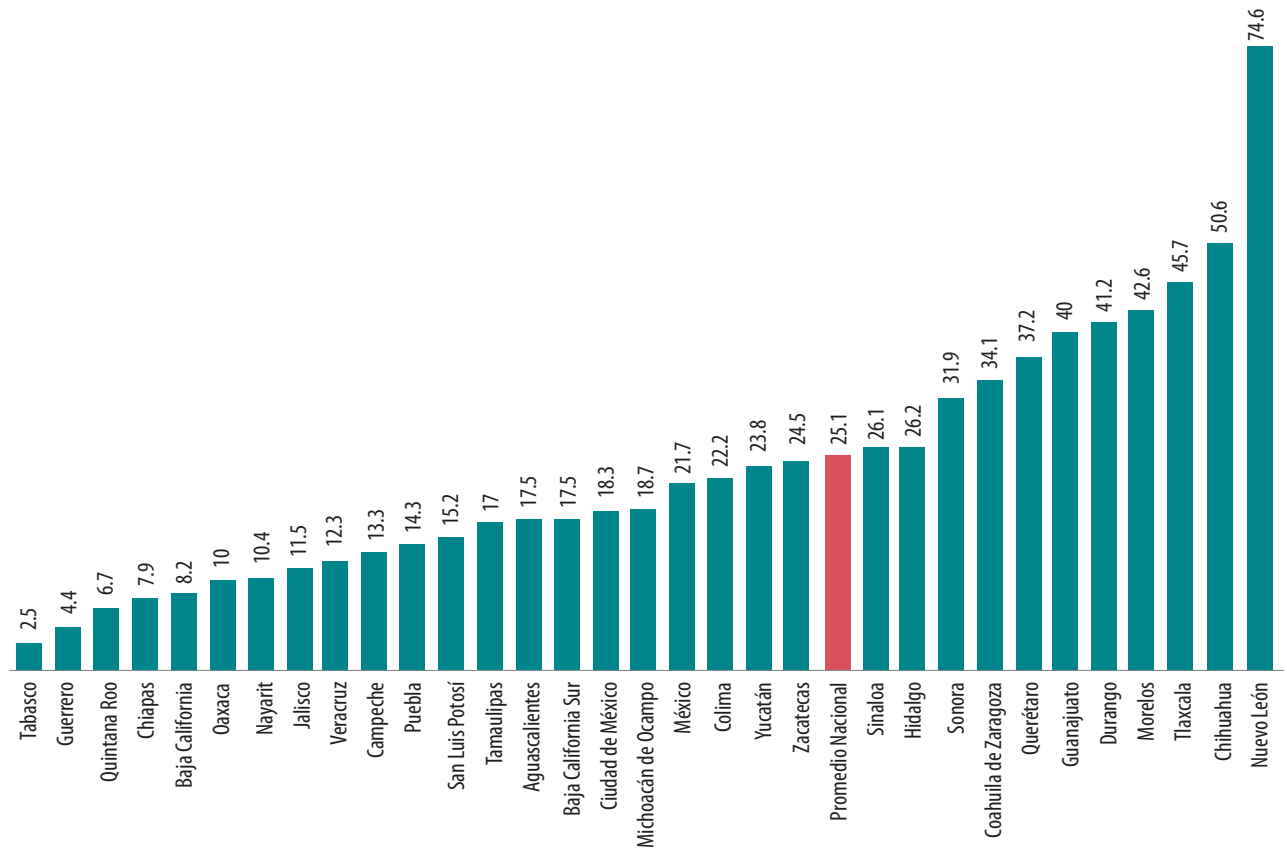


Fuente: elaboración propia con base en ENCIG, 2019.

En la sección anterior se comentó que otro de los efectos más importantes del cambio climático sería el deterioro de la calidad del agua. Ciertamente, el agua que se suministra en la red pasa por un proceso de potabilización para que pueda ser apta para el consumo humano. No obstante, si las fuentes de agua empeoran su calidad, esto implicará que el tratamiento de potabilización tendría que incluir o potenciar ciertos procesos, lo que elevaría el costo de la potabilización. En la ENCIG 2019, se proporciona un indicador de percepción ciudadana que resulta relevante para este tema, el cual se refiere a la valoración ciudadana sobre si el agua potable de su ciudad es bebible sin temor a enfermarse. El

promedio a nivel nacional establece que solamente una de cuatro personas considera que el agua potable en su ciudad se puede beber sin contraer una enfermedad. Ahora bien, este promedio nacional oculta la gravedad del tema para ciertas entidades federativas. En la gráfica 4 se aprecian los valores tan bajos de confianza que tiene la población en la calidad del agua potable en los estados de Tabasco, Guerrero, Quintana Roo, Chiapas y Baja California. Incluso las entidades federativas que tienen los mejores resultados como Nuevo León y Chihuahua, están en el orden de 70 y 50%, es decir, son valores altos, pero con un margen de mejora bastante amplio.

**Gráfica 4. Porcentaje de población de 18 años y más que refirió que el agua potable en su ciudad es bebible sin temor a enfermarse**



Fuente: elaboración propia con base en ENCIG, 2019.

Para concluir, se retomarán un par de indicadores sobre los servicios de alcantarillado y saneamiento básicos. Además de su relevancia por la relación

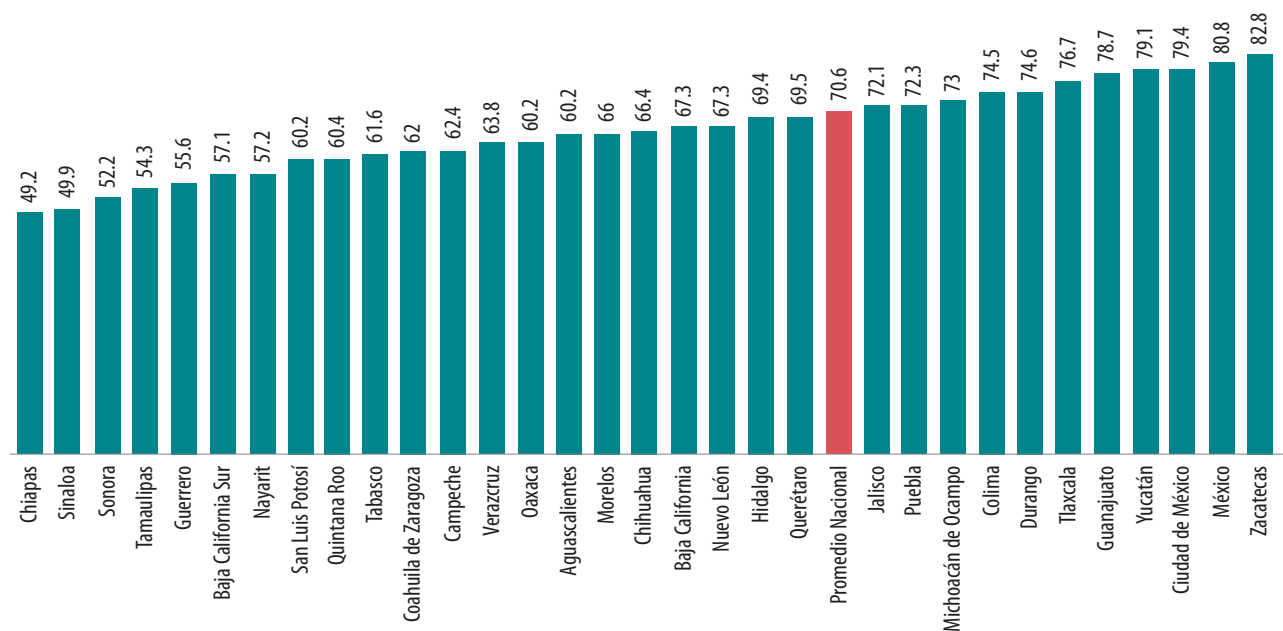
que tiene con preservar la salud de la población, su adecuado funcionamiento es importante para evitar que las aguas residuales se descarguen y

contaminen otros cuerpos de agua. Aunque en México no hay una separación que separe el agua pluvial del agua residual, una adecuada infraestructura de alcantarillado y saneamiento al menos reduce los impactos de los desbordamientos y de las inundaciones. El indicador de cobertura sobre este servicio es inferior al de agua potable. Mientras que el promedio nacional referente a la cobertura de agua potable es de 95.3% (con la acotación mencionada previamente), para el de alcantarillado y saneamiento básico es de 92.8 por ciento. De acuerdo con el Catálogo Nacional de Indicadores del Inegi, para el año 2015 las entidades federativas con menor cobertura son Oaxaca (73.4%), Guerrero (81.7%) y San Luis Potosí (86%). Por el contrario, la mejor cobertura se encuentra en los estados de Colima (99.1%), Aguascalientes (98.9%) y la Ciudad de México (98.8%).

Por otro lado, y en un importante contraste con el indicador de cobertura, la ENCIG 2019 identificó que solamente 46.2% de la población usuaria está muy satisfecha o satisfecha con el servicio de drenaje y alcantarillado. Los estados en los que hay una menor cantidad de población usuaria muy satisfecha o satisfecha con este servicio son Tabasco (20.6%), Chiapas (28.3%), Quintana Roo (31.1%), Guerrero (31.8%) y Campeche (32%). En cambio,

las entidades federativas con mayor población satisfecha o muy satisfecha son Nuevo León (66.7%), Colima (64.3%) y Durango (58%). Otro indicador interesante de la ENCIG 2019, establece la percepción ciudadana con respecto a las fugas de aguas negras (véase gráfica 5). A nivel nacional, siete de cada 10 personas encuestadas refirió que en su ciudad no existen fugas de aguas negras por rupturas en el servicio de drenaje y alcantarillado. Sin embargo, hay entidades federativas en las que el valor obtenido es inferior al 50%, es decir, más de la mitad de la población considera que existen fugas en el servicio de drenaje y alcantarillado. Estos son los casos de Chiapas (49.2%) y Sinaloa (49.9%), pero también es importante destacar los valores de Sonora, Tamaulipas, Guerrero, Baja California Sur y Nayarit, todos estos estados costeros y con valores bajos en este indicador, de manera que se puede inferir que gran parte del agua residual desemboca en el ecosistema marino, con la contaminación que implica para el funcionamiento y las especies de este medio. Además, en caso de precipitaciones pluviales extraordinarias, la cantidad de aguas residuales que desembocaría en el mar sería considerable porque ejercería una mayor presión al servicio que ya presenta problemas de fugas que requieren una atención considerable.

**Gráfica 5. Porcentaje de población de 18 años y más que refirió, en relación con servicio de drenaje y alcantarillado de su ciudad, que no existen fugas de aguas negras por rupturas en el mismo, por entidad federativa**



Fuente: elaboración propia con base en ENCIG, 2019.

## A manera de conclusión

La interrelación entre agua y cambio climático genera repercusiones en ambas dimensiones. Por un lado, el cambio climático tendrá implicaciones en la disponibilidad de agua en dos escenarios contrastantes: las zonas áridas tendrán menor disponibilidad de agua y en muchas partes del mundo, aumentará la cantidad de fenómenos meteorológicos extremos como lluvias torrenciales, huracanes, etcétera. Por el otro, una gestión inadecuada del agua en la agricultura, la industria y en el abastecimiento de centros urbanos genera problemáticas que contribuyen al propio cambio climático, no solamente por el gasto de energía mediante el uso de combustibles fósiles para el bombeo de agua, sino también por el desperdicio y la contaminación del agua. En este segundo caso, la contaminación afecta a otros ecosistemas, principalmente mari-

nos y costeros, con graves daños que en muchos casos serán irreversibles.

Es muy importante subrayar que no todos los problemas en la gestión del agua urbana son o serán resultado de los efectos del cambio climático, muchos de ellos se originan por problemas de gestión (falta de cobertura universal en los servicios de agua y saneamiento, fugas en la red, falta de una cultura del agua sostenible, etcétera). Estos problemas de gestión han incrementado en los últimos años los conflictos por el agua en nuestro país, los cuales cada vez se han hecho más contenciosos e incluso con expresiones de violencia física (Kloster, 2016). Tan solo en los últimos meses hemos podido apreciar conflictos por el agua en ciudades fronterizas por la competencia entre diferentes usos sobre recursos que son evaluados como escasos o



que forman parte de cuencas fronterizas, cuyos acuerdos binacionales regulan su aprovechamiento.<sup>6</sup> Cada conflicto hídrico obedece a una lógica particular y deviene de una historicidad específica en el territorio; sin embargo, resulta cada vez más patente que la posible solución depende de impulsar nuevos arreglos deliberativos en los que puedan generarse acuerdos entre múltiples intereses en competencia (Zamora, 2017).

Otro aspecto que es fundamental incluir en esta discusión consiste en la necesidad de mejorar la calidad de información sobre los recursos hídricos en el país. Los efectos del cambio climático sobre el agua son estimaciones globales, pero hay una fuerte incertidumbre sobre los efectos que dicho fenómeno tendría a nivel de cuenca y en escala local. En la Evaluación Global del Estado de los Servicios Hidrológicos llevada a cabo por el Banco Mundial en el año 2018, se subraya que uno de los problemas más importantes en el manejo del agua que hacen los países en desarrollo consiste en la falta de sistemas de monitoreo hídricos que resulten adecuados para conocer el estado y la variabilidad temporal del agua (Banco Mundial, 2018). En escenarios de alta incertidumbre como el que configura el cambio climático, la falta de información suficiente y confiable imposibilita una adecuada planificación territorial en donde el agua sea un eje transversal de las políticas.

La resiliencia de las ciudades ante la presión del cambio climático dependerá en gran medida de que se diseñe e implementen políticas encaminadas a lograr un desarrollo sostenible efectivo. El éxito en la implementación de medidas de adaptación y mitigación al cambio climático requiere de una revisión profunda de nuestro modo de producción actual, pero también de una mayor conciencia ambiental por parte de la población que favorezca un uso más sostenible de la naturaleza. Para ello se requiere promover de manera continua programas de educación ambiental que permitan la creación de capacidades para hacer frente a este desafío global.

6 En la opinión pública nacional está muy presente el conflicto reciente en la ciudad de Mexicali por el establecimiento de la cervecera Constellation Brands y su cancelación por una consulta popular; así como el conflicto en el estado de Chihuahua por la derivación de agua del río Conchos hacia Estados Unidos como parte del Tratado sobre Distribución de las Aguas Internacionales firmado entre ambos países en 1944, el cual regula la distribución de los ríos Colorado y Bravo en ambos lados de la frontera.

Banco Mundial. (2018). *Assessment of the State of Hydrological Services in Developing Countries*. Washington, DC.: Banco Mundial.

\_\_\_\_\_. (2015). *Diagnóstico para el manejo integral de las subcuencas Tuxpan, El Bosque, Ixtapan del oro, Valle de Bravo, Colorines-Chilesdo y Villa Victoria pertenecientes al sistema Cutzamala*. Ciudad de México: Banco Mundial.

Comisión Intersecretarial para el Manejo Sustentable de Mares y Costas. (CIMARES). (2011). *Política Nacional de Mares y Costas de México. Gestión integral de las regiones más dinámicas del territorio nacional*. Ciudad de México: CIMARES.

Kloster, Karina. (2016). *Las luchas por el agua en México (1990-2010)*. Ciudad de México: Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

IPCC, (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático, por sus siglas en inglés). 2018. *Summary for Policymakers. Global Warming of 1.5°C above preindustrial 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*. Ginebra: IPCC.

Organización de Naciones Unidas. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 11. Ciudades y Comunidades Sostenibles*. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>.

Organización Mundial de la Salud. (OMS). (2019). «1 de cada 3 personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, según UNICEF y la OMS». *Comunicado de prensa*, 18 de junio de 2019. Disponible en: <https://bit.ly/33DiZY3>.

PBL, Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos. (2014). *Towards a World Cities in 2050: An Outlook on Water-Related Challenges*. La Haya, Países Bajos: Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos. Disponible en: <https://www.pbl.nl/en/publications/towards-a-world-of-cities-in-2050-an-outlook-on-water-related-challenges>.

UNESCO & ONU-Agua. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*. París: UNESCO.

Zamora Saenz, Itzkuauhtli. (2017). Participación ciudadana y conflicto en el rescate de ríos urbanos. El caso del río Magdalena en la Ciudad de México. En: María Luisa Torregrosa (coord.). *El conflicto del agua. Política, gestión, resistencia y demanda social*. Ciudad de México: Flacso-México.

# Impacto del cambio climático en el mundo

Fotografía: ©kpboonjit | AdobeStock

**E**L CAMBIO CLIMÁTICO ESTÁ TRANSFORMANDO EL MUNDO. En las dos últimas décadas se han registrado los dieciocho de los años más cálidos, y los fenómenos meteorológicos extremos, como los incendios forestales, las olas de calor, huracanes e inundaciones, son cada vez más frecuentes e intensos a nivel mundial.

68

Los científicos advierten de que, si no se actúa urgentemente, es probable que el calentamiento global supere en 2060 los 2 °C por encima de los niveles preindustriales, y podría incluso llegar a los 5 °C antes de finales de siglo.

Ese aumento de la temperatura del planeta tendrá un efecto devastador sobre la naturaleza y provocará cambios irreversibles en muchos ecosistemas, con la consiguiente pérdida de biodiversidad. El aumento de las temperaturas y la exacerbación de los fenómenos meteorológicos también conlleva enormes costos para la economía y mermará la capacidad de los países de producir alimentos.

El cambio climático es un desafío mundial que requiere una respuesta responsable y comprometida de todos los países. México ha sido muy proactivo a nivel internacional y es uno de los signatarios del Acuerdo de París, a través del cual se pretende



Colegio de Ingenieros  
Ambientales de México, A.C.

limitar el calentamiento del planeta muy por debajo de 2 °C y promover medidas para limitarlo a 1.5 °C.

El Colegio de Ingenieros Ambientales de México A.C. agradece al Instituto Belisario Domínguez su amable invitación a contribuir con un Artículo sobre Cambio Climático para su revista *Pluralidad y Consenso* donde en esta primera parte se abordan los temas: *Impacto a la gobernanza ambiental del planeta por R. Lacy* y *El manejo de aguas residuales y su impacto en el cambio climático* Por A. Noyola

Ambos destacados miembros de nuestro Colegio con una amplia trayectoria internacional, a quienes externamos un sincero agradecimiento por su contribución.

A. Cruzado, Presidente del x  
Consejo Directivo del CINAM

## Impacto a la gobernanza ambiental del planeta

R. Lacy T.

Los cambios graduales del clima han motivado también cambios graduales en la gestión ambiental del planeta, a través de la creación de múltiples regímenes internacionales<sup>1</sup> así como instituciones dedicadas al tema en el sector gubernamental, académico, a nivel privado y en la sociedad civil. Cada vez es más frecuente la denominación de secretarías de Estado en materia climática, centros de investigación, áreas de financiamiento y organizaciones no gubernamentales con personal profesional trabajando en el tema. La gran mayoría de estas instituciones se reúnen anualmente en la Conferencia de las Partes (COP) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Debido a la pandemia covid-19, este año no se pudo realizar la COP26, la cual se llevará a cabo hasta noviembre del 2021 en la ciudad de Glasgow, Reino Unido, donde originalmente se esperaban a más de 30 mil participantes.

La agenda climática global se ha ido extendiendo a múltiples sectores y dimensiones. Las otras dos convenciones ambientales de la ONU derivadas de la Cumbre de Río en 1992, las de biodiversidad y de desertificación, han empezado a alinearse a los

1 Entre ellos: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el Acuerdo de París, el Protocolo de Kioto, el Fondo Verde Climático, el Fondo de Adaptación, la enmienda de Kigali al Protocolo de Montreal, los mercados de carbono (por ejemplo, el de Europa y el de la industria de la aviación), entre otros.

Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y en especial a los del Acuerdo de París (Objetivo 13); lo mismo está sucediendo con los regímenes globales que regulan los ecosistemas costeros y el Océano, los químicos, la contaminación del aire, los residuos urbanos o la extracción de materiales, entre otros temas con clara vinculación a la salud pública y ambiental.

Agrupadas como medidas de mitigación, las primeras acciones climáticas estaban ligadas a la reducción de gases de efecto invernadero<sup>2</sup>. Ahora se ha incrementado la acción en materia de adaptación, a través de medidas que buscan disminuir la vulnerabilidad de la población, la infraestructura o las actividades productivas a la modificación del clima y los eventos hidrometeorológicos extremos asociados al cambio climático. Aumentar la resiliencia de nuestras sociedades y sistemas económicos a éstos últimos, donde pueden ya incluirse las pandemias derivadas de zoonosis por un mal manejo de la biodiversidad, se ha vuelto una prioridad a nivel global. Las soluciones basadas en la Naturaleza, o sea, respetando los ciclos ecológicos y la integridad física y biológica de los ecosistemas, son más adecuadas para enfrentar el cambio climático pues permiten disminuir la emisión de contaminantes climáticos y proteger la biodiversidad de manera simultánea. En el campo industrial y del comercio internacional, estas soluciones se han vinculado al paradigma de Economía Circular, que busca el uso eficiente de materiales y la disminución simultánea del consumo energético y la generación de residuos en todas las cadenas de suministro de bienes y servicios a nivel global.

El Secretario General de las Naciones Unidas ha convocado a los países firmantes del Acuerdo de París a intensificar sus acciones climáticas para limitar el aumento de la temperatura del planeta a 1.5°C, como lo sugiere contundentemente el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) en su reporte especial. Es posible, sí, pero será necesario reducir el 45% de las emisiones actuales en 2030 y alcanzar la neutralidad de carbono en el año 2050.<sup>3</sup> Este esfuerzo debe ir acompañado de un apoyo financiamiento que empieza con los 100 mil millones de dólares que cada año los países

2 Medidos como CO<sub>2</sub> equivalentes.

3 Ver discurso de António Guterres pronunciado el 23 de septiembre de 2019 ante el pleno de la Asamblea General de las Naciones Unidas en Nueva York, EUA.



Fotografía: ©Skyimages | AdobeStock

desarrollados deben movilizar hacia los países en desarrollo, a través de mecanismos de Asistencia Gubernamental directa al Desarrollo (ODA por sus siglas en inglés), créditos gubernamentales a la exportación y mediante flujos financieros privados y públicos. En su último reporte, la OCDE señala que al año 2018 se habían movilizado 78 mil 900 millones de dólares,<sup>4</sup> lo que hace suponer que la meta de los 100 mil millones es alcanzable ya que la tendencia así lo indica. No obstante, la pandemia del covid-19 creó una crisis económica que no ha podido superarse, cuyas repercusiones en las finanzas climáticas globales aún se desconocen.

La misma OCDE indicaba que alinear las inversiones previsibles en sectores estratégicos del desarrollo a nivel mundial (Energía, Construcción, Transporte e Infraestructura Hidráulica) a la meta de 2°C del Acuerdo de París, requiere de un 10% más de recursos.<sup>5</sup> No obstante, este esfuerzo es claramente insuficiente, pues ya se ha llegado a puntos de no retorno en el clima que indican la urgente necesidad de incrementar cada cinco años la ambición de los Compromisos Nacionalmente Adquiridos (NDC por sus siglas en inglés) para la próxima década. Son muy pocos los países que han comu-

nicado a la CMNUCC sus estrategias de largo plazo al año 2050 (sólo 18 y la Unión Europea) y mucho menos los que han remitido sus NDCs correspondientes al año 2020 con una mayor ambición (sólo 11 de 197 países, al 9 de septiembre). Una docena de países han asumido voluntariamente la meta de neutralidad de carbono o emisión cero para mediados de siglo o antes, como lo ha solicitado la ONU, destacándose la Unión Europea, Alemania, Japón, Canadá, el Reino Unido o Francia, entre las principales economías del mundo, así como Chile y Costa Rica entre las naciones latinoamericanas. China, el principal emisor a nivel mundial de gases de efecto invernadero, se ha planteado también lograr su neutralidad de carbono, pero hasta el año 2060, bajo su recién adoptado plan de creación de una «Civilización Ecológica».

En este panorama, para la COP26, el Reino Unido ha convocado a la comunidad mundial a sumarse a cinco ejes de acción y diálogo en Glasgow:

- Adaptación y resiliencia
- Soluciones basadas en la naturaleza
- Transición energética
- Transporte carretero limpio
- Financiamiento para una economía de cero carbono

4 OCDE. (2020). *Climate Finance Provided and Mobilised by Developed Countries in 2013-2018*.

5 OCDE. (2018). *Financing Climate Futures, Rethinking Infrastructure*.



## El manejo de aguas residuales y su impacto en el cambio climático

A. Noyola R.

En estos frentes son claramente visibles tendencias tecnológicas y organizacionales que permiten visualizar transformaciones profundas en las industrias de la energía, automotriz, alimentaria y muy destacadamente, en el sistema financiero. Ciertamente, en el sistema financiero. Ciertamente es que las energías renovables se han vuelto más baratas que las convencionales basadas en combustibles fósiles para producir electricidad y que generan más empleo,<sup>6</sup> lo que ha estimulado a la industria automotriz a centrar sus esfuerzos en la producción masiva de vehículos eléctricos (autobuses, automóviles, motocicletas, bicicletas y hasta patinetas). La predilección de alimentos orgánicos, obtenidos sin aplicación de pesticidas y fertilizantes químicos, es también una tendencia en la ruta de la neutralidad de carbono. Por su parte, los Bancos Centrales y muchas instituciones financieras multilaterales y privadas están ya calculando y condicionando sus operaciones a los riesgos climáticos de sus inversiones; a la vez que han desarrollado taxonomías para estandarizar sus esquemas de financiación verde, para focalizar esfuerzos en aquellas operaciones que realmente favorecen la sustentabilidad ambiental y la preservación de la naturaleza.

La gobernanza climática global se ha vuelto una prioridad en el concierto de naciones y en múltiples foros internacionales, como el G7, el G20 o las reuniones de líderes políticos y empresariales en Davos, ya que el cambio climático es un factor que amenaza seriamente la estabilidad de la economía mundial.<sup>7</sup> Las migraciones climáticas derivadas de hambrunas y pobreza extrema detonadas por sequías prolongadas en África y Medio Oriente son una voz de alarma política, con gravísimas implicaciones militares, asociadas a tragedias humanitarias inaceptables. Tragedias climáticas ha empezado a ocurrir también con la elevación del mar en países insulares del Pacífico, las continuas inundaciones en el Sudeste Asiático o los incendios forestales en múltiples regiones del planeta, por lo que es necesario reforzar las instancias multilaterales de diálogo, como única vía para mantener la coordinación de las naciones en el logro de los Objetivos Globales de Desarrollo.

Dentro del marco de la sostenibilidad, el adecuado manejo de las aguas residuales constituye un componente importante para la mitigación de emisiones de GEI. Existen diversas oportunidades ambiental y económicamente viables para reducir las emisiones de GEI del sector y así contribuir en las metas nacionales e internacionales en materia de cambio climático.

La región Latinoamericana, presenta un rezago importante en infraestructura de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. A falta de una cifra confiable para la región, se puede estimar que un 38% de las aguas residuales municipales producidas en América Latina ingresa a una planta de tratamiento de aguas residuales, lo que se incrementa al 56% cuando se considera solo el caudal que es captado por redes de drenaje. Para el caso particular de México, con base en información de CONAGUA (2018), en 2017 se contaba con 2 526 plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales trataban 136 m<sup>3</sup>/s. El caudal de aguas residuales municipales captadas por sistemas de drenaje alcanzó los 215 m<sup>3</sup>/s, por lo que el 63% de estas descargas recibieron tratamiento en ese año.

Aparentemente, ni el impacto negativo al ecosistema causado por las descargas de aguas residuales crudas ni el daño a la salud pública han sido elementos suficientes para que el tratamiento de las aguas residuales sea considerado como una prioridad tanto para el gobierno como para la sociedad en la región. En este contexto, el necesario tránsito hacia un desarrollo sustentable viene a incorporar nuevos elementos anteriormente ausentes en la toma de decisiones en el sector agua, enmarcados dentro del concepto de la economía circular: Por un lado, la necesidad de recuperar agua residual para ser incorporada en varios usos no potables, ante la creciente escasez del recurso en diversas zonas de Latinoamérica y del Caribe, y por otro, el objetivo de reducir gases de efecto invernadero (GEI) mediante un adecuado manejo de las aguas residuales, al evitar la emisión de metano por descargas crudas a cuerpos de agua.

6 IRENA. (2020). *Global Renewables Outlook*.

7 Ver el *Global Risk Report 2020* del *World Economic Forum*.

Fuera de la aplicación en riego agrícola, mayoritariamente con aguas residuales no tratadas, las experiencias de reúso son aún escasas en América Latina, frente al potencial que representa el aprovechamiento del recurso después de un primer uso. Es de esperar que en el marco del desarrollo sustentable y de la economía circular, y ante la amenaza de los efectos del cambio climático, el tratamiento de las aguas residuales podrá avanzar como resultado de la necesidad creciente de disponer de volúmenes de agua que de otra forma no podrían ser suministrados.

Para atender lo anterior, se requerirá de nueva infraestructura para el manejo y tratamiento de aguas residuales y de adecuaciones a la existente. La carencia en infraestructura de tratamiento puede verse como una oportunidad para seleccionar, en aquellas plantas por construir, tecnologías adaptadas al caso específico, más sustentables y con menor huella de carbono, reconociendo las limitaciones técnicas y económicas que con frecuencia se presentan en el sector agua de América Latina. En este contexto, la adopción de sistemas extensivos, basados en la naturaleza, deberá favorecerse en los casos en que sea posible su utilización.

Para avanzar en esa dirección, es necesario incluir el concepto de sustentabilidad en la toma de decisiones, enfatizando los componentes social y ambiental. Al respecto, el desarrollo de inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en ciudades, conlleva la identificación de una serie de oportunidades y beneficios que pueden ser

implementadas por los gobiernos para la reducción y mitigación de emisiones y con ello, atender aspectos relacionados con la generación de oportunidades económicas, reducción de pobreza y el incremento en niveles de calidad de vida.

El manejo y el tratamiento de aguas residuales han sido identificados como una importante fuente de GEI. Se estima que esta actividad es responsable de entre 8 y 11% del metano antropogénico presente en la atmósfera (Fayez y Al-Ghazzawi, 2000). En este contexto, es de vital importancia identificar estrategias que contribuyan a la reducción y mitigación de emisiones de GEI por parte del sector agua.

En los tratamientos anaerobios se genera biogás, una mezcla constituida por  $\text{CH}_4$  en alrededor de un 65% y  $\text{CO}_2$  en 35%. El metano contenido en el biogás es una fuente de energía renovable, pero también puede ser una fuente importante de contaminación si se libera a la atmósfera, debido a su significativa contribución al efecto invernadero. Las fuentes de emisiones de metano en los sistemas de tratamiento pueden encontrarse en las dos líneas que lo conforman: la del agua y la de los lodos residuales. En procesos aerobios convencionales y eficientes, la primera línea puede considerarse libre de emisiones de  $\text{CH}_4$ . No sería el caso en instalaciones con aeración deficiente o con un mal manejo de purga de lodos en los sedimentadores, por citar dos fuentes potenciales. Por su parte, la línea de lodos es considerada una fuente importante de metano, ya que la naturaleza putrescible de los lodos de purga hace que este gas se produzca en tanques espesa-



Fotografía: ©Tierney | AdobeStock

dores o de almacenamiento, aunque no exista una etapa anaerobia formal. Naturalmente, en aquellas instalaciones que cuentan con digestión anaerobia de lodos, la emisión de  $\text{CH}_4$  será inevitable, debiendo ser captada y transformada a  $\text{CO}_2$  (por quemado en antorcha o en equipo para su aprovechamiento).

El otro GEI relevante en el tratamiento de aguas residuales es el óxido nitroso, que se produce los procesos aerobios, en particular en aquellos que comprenden una etapa de nitrificación - desnitrificación para la remoción biológica de nitrógeno. En México son aún limitadas las plantas de tratamiento que eliminan nutrientes (nitrógeno y fósforo) con fines de reducir la eutrofización de cuerpos de agua, por lo que este gas no ocupa aún un sitio relevante en el inventario nacional de emisiones de GEI asociado al manejo de las aguas residuales.

La estimación de la huella de carbono de diversos sistemas de tratamiento de aguas residuales con base en la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV) permite identificar los trenes de tratamiento de agua residual con menor generación de GEI (Noyola *et al.*, 2016). En el caso del metano, los valores obtenidos se encuentran en el intervalo de 0.34 a 0.79  $\text{kg CO}_2 \text{ eq}$  por cada metro cúbico de agua residual tratada. Las lagunas de estabilización presentan los valores más altos de emisión (alrededor de 0.78  $\text{kg CO}_2 \text{ eq/m}^3$ ), debido a que el metano producido en la primera laguna (anaerobia) es emitido directamente a la atmósfera. Por otro lado, los escenarios con sistemas de tratamiento con base en reactores anaerobios tipo lecho de lodos (UASB) con un adecuado manejo del biogás (captura y quemado) representan los valores más bajo de emisión (0.34 a 0.43  $\text{kg CO}_2 \text{ eq/m}^3$ ) (Paredes, 2017).

Es posible identificar algunas acciones que permitan reducir la huella de carbono y que puedan ser aplicadas por los organismos operadores responsables de proveer el servicio de tratamiento de aguas residuales:

1. Lograr un uso eficiente de la energía consumida en las instalaciones y aplicar buenas prácticas de operación en general.
2. Adecuar los procesos de lodos activados para incorporar un digestor anaerobio para los lodos, en particular para instalaciones que reciban más de 200 L/s.
3. Cubrir las lagunas anaerobias o el primer tercio de las lagunas facultativas cuando esta

sea la primera del sistema lagunar, para capturar el biogás y quemarlo. La cubierta pueden ser membranas plásticas debidamente adaptadas al sitio.

4. Adoptar la tecnología de reactores tipo UASB en nuevas plantas de tratamiento, en regiones de clima cálido, seguido del postratamiento adecuado. Asegurar una completa captura del biogás y su posterior quemado.

En todos los casos en que se produzca biogás, este deberá ser quemado y en las instalaciones mayores a 100 L/s para reactores UASB y 200 L/s para lodos activados convencionales, debe considerarse su aprovechamiento energético (cogeneración).

Es necesario enfatizar que los actores involucrados en el tratamiento de aguas residuales tienen un importante trabajo por realizar para alcanzar los objetivos nacionales de reducción de emisiones de GEI y de consumo de energía en general. Para lograr este objetivo, se requieren diagnósticos precisos, nuevas herramientas de análisis y una amplia coordinación, entre otras acciones, para que las entidades gubernamentales, las empresas de agua y los entes reguladores puedan enfrentar el desafío de reducir la huella de carbono del subsector y mejorar su sostenibilidad ambiental, social y económica. En ello, es necesario aplicar un enfoque sistemático que involucre a las instituciones de gobierno, privadas y académicas con la participación de la sociedad.

## Referencias

73

- Comisión Nacional del Agua. (2018) Capítulo 4. Infraestructura hidráulica. *Estadísticas del agua en México*. 303 pp.
- Fayez A, Al-Ghazzawi Z. (2000) Methane emissions from domestic waste management facilities in Jordan – applicability of IPCC methodology. *J Air Waste Manage Assoc.* 50:234–239.
- Noyola A. *et al.* (2016) Reduction of greenhouse gas emissions from municipal wastewater treatment in Mexico based on technology selection, *CLEAN–Soil, Air, Water.* 44 (9), 1091-1098
- Paredes G. (2017) Estimation of the  $\text{CH}_4$  emission factors for the three most representative municipal wastewater treatment processes in Mexico, Tesis de Doctorado en Ingeniería (Ambiental), Universidad Nacional Autónoma de México, 207 pp.

# Evolución de la laguna de Texcoco en México y del lago de Valencia en Venezuela y su relación con el cambio climático actual

Fotografía: ©Geóg. Ricardo Hernández V. | www.arcgis.com

## Resumen

74

LA EVOLUCIÓN PAISAJISTA EN EL SEGUNDO MILENIO DC, DE DOS importantes lagos, Texcoco en México y Valencia en Venezuela, separados entre sí unos 4.300 kilómetros, se relaciona con el cambio climático desde el año 1000 hasta el presente. A la llegada del conquistador español, el gran lago Texcoco de más de 1.600 km<sup>2</sup> conformaba el área que ocupa hoy la ciudad de México, quedando en la actualidad unos 100 km<sup>2</sup>; por otra parte el lago de Valencia descendió 26 metros de altura pasando de un área de 750 km<sup>2</sup> a 350 km<sup>2</sup>.

Para el presente artículo sobre la desaparición o descenso de los lagos se toman como base los resultados de la variación de la temperatura global en los dos últimos milenios según Christiansen y Ljungqvist (2012), limitando el presente estudio al último milenio. Entre los años 1200 a 1450 la temperatura existente se puede relacionar con un periodo de estabilidad climática, cursos de agua de caudales permanentes, amplias áreas de bosques, abundancia de fauna, constituyendo lo que se llamaría el Paraíso Terrenal. A partir del año 1450, la temperatura global comienza a disminuir, y se prolonga hasta finales del siglo XIX, asociado



Roque García Ruiz

Ingeniero Geólogo por la Universidad Central de Venezuela. Catedrático de Geología Aplicada en la facultad de Ingeniería, escuela de Civil, de la Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.

a la pequeña edad de hielo (EIA), lo que debió facilitar mayor radiación en las superficies del agua, afectando el balance hídrico, pudiendo ser origen en gran parte del descenso del nivel de los lagos.

Para finales del siglo xx y en el comienzo del siglo xxi, se presenta un ascenso de temperatura, similar al año 1000, lo cual está asociado a eventos climáticos de mayor intensidad y duración que los ocurridos en los últimos 500 años. El cambio climático actual aunque marca las mayores temperaturas, la evaporación hacia la atmosfera provenientes de mares, lagos, casquetes polares, zonas nevadas en montañas y ríos, debe afectar el ciclo hidrológico lo cual puede estar relacionado con periodos de lluvias de mayor duración e intensidad. La temperatura en los últimos dos milenios ha presentado ascensos y descensos, pudiendo el actual calentamiento global que afecta al planeta Tierra, conducir a un descenso progresivo de las temperaturas hacia finales del siglo.

## Introducción

Para la presente investigación se han seleccionados dos lagos en el continente americano, en cuyos paisajes antes de la llegada del conquistador español, desarrollaron poblaciones en un hábitat muy distinto al actual, y que en 500 años han llevado a una drástica disminución de las áreas ocupadas por las aguas. El lago Texcoco se localiza en México, al norte de América Central y el lago de Valencia en Venezuela al norte del continente suramericano, existiendo entre ellos una distancia de unos 4.300 kilómetros (véase figura 1).

E Imperio azteca también llamado, Triple Alianza, Imperio mexica o Imperio tenochca, tal como lo indica Carrasco P. (1996), fue una entidad de control territorial, político y económico que abarcó la parte sur de México y la parte norte de América Central, durante e posclásico tardío antes de la conquista española. Obregón C. (2008), indica que la Triple Alianza, del vocablo «*Ēxcān Tlahtōlyān*» (los tres lugares donde se dan ordenes), lo formaron los sectores de Texcoco, Tlacopan y Mexico-Tenochtitlan, donde la alegoría fundacional de México-Tenochtitlan en el año «2 Calli» (1325).

El valle de México, a la llegada del conquistador español (1519), estaba ocupado por un gran lago,

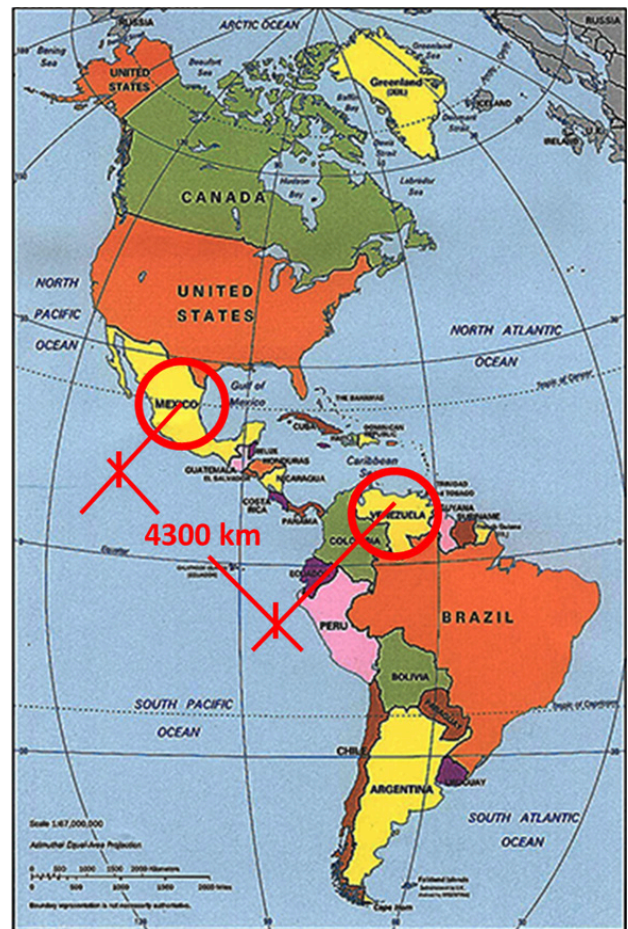


Figura 1: localización del área de investigación. Lagos Texcoco (México)-Valencia (Venezuela).

nombrado de acuerdo a su ubicación geográfica en seis sectores, tal como se observa en la figura 2: al norte Zumpango y Xaltocan, hacia la parte central Texcoco y hacia el oeste y sur, México, Chalco y Xochimilco. El lago de México rodeaba la ciudad azteca de Tenochtitlan, ocupando lo que es la ciudad de México, con una población actual de más 30 millones de habitantes. La cuenca que limitaba el gran lago es endorreica, sin drenaje al exterior, donde el área que cubría el agua a la llegada de los españoles era de 1.600 km<sup>2</sup>, de los cuales solo se conserva en la actualidad pequeñas extensiones de uso turístico, de unos 100 km<sup>2</sup>.

El lago de Valencia, en Venezuela, está limitado en la actualidad por las capitales de los estados Aragua y Carabobo, Maracay por el este y Valencia por el oeste, con una población del orden de tres millones de habitantes. A la llegada del imperio español (año 1500) su extensión era de unos 750 km<sup>2</sup>,



Figura 2: El lago Texcoco para 1519, donde se encuentra el nombre de los distintos sectores, así como la ciudad de México Tenochtitlan. Fuente: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Basin\\_of\\_Mexico\\_1519\\_map-es.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Basin_of_Mexico_1519_map-es.svg)

dos veces mayor que la actual de 370 km<sup>2</sup> (véase figura 3. La cota del lago en el año 1500 era 427 msnm, con una descarga por el oeste, por el caño El Paito, por cuya divisoria drenaron las aguas hasta comienzos del siglo XIX, convirtiéndose con su descenso en una cuenca endorreica. Hacia el año

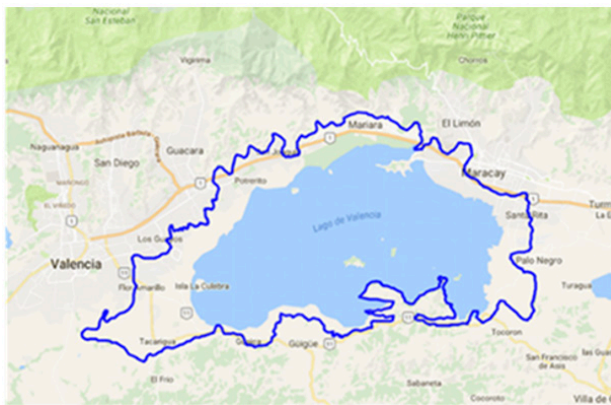


Figura 3: el lago de Valencia en la actualidad, delimitado en línea azul la cota 427 msnm, a la llegada del conquistador español. Fuente: Google Earth.

1900 la cota del lago era 417 msnm y para el año 1971 su cota disminuyó a 401 msnm. En la actualidad las aguas para el abastecimiento de las ciudades en la cuenca, provienen de embalses sobre el río Pao, al oeste del lago de Valencia, y cuyas descargas al lago han ocasionado un ascenso del nivel del agua hasta cota actual de 414 msnm, produciendo graves problemas de inundaciones hacia áreas pobladas que anteriormente se extendieron debido al descenso del nivel del agua.

## Evolución de los lagos

En la historia de los últimos 500 años, la evolución de los lagos a nivel mundial, han presentado variaciones importantes en sus áreas ocupadas, principalmente relacionadas con la disminución en las cotas y con tendencia a desaparecer. Las áreas dejadas al descender el nivel de un lago, rápidamente son aprovechadas para desarrollos de cualquier tipo. En caso de que el agua nuevamente ascienda, los niveles generarán problemas de inundación, que pueden requerir de costosas obras de ingeniería para su control.

## Lago de Texcoco

De acuerdo a bibliografía existente, Gibson (1984), Altamirano (1996), la cultura azteca comienza a partir del siglo XII, con la llegada de los pueblos chichimeca, alcanzando su mayor desarrollo entre los siglos XIV al XVI. Se destaca el uso de chinampas, llamadas por los españoles jardines flotantes, las cuales permitieron ganar terreno a los lagos, principalmente para cultivos.

Las chinampas eran construidas en el lago en zonas de poca profundidad, se clavaban estacas de ahuehuetes, colocándose encima un petate, cubierto por sedimento extraído del fondo de la laguna. De las estacas crecía vegetación y con el tiempo las raíces consolidaban el sector, permitiendo su siembra y la ampliación de áreas secas.

Tenochtitlan fue construida en un islote y lateralmente fue ampliada mediante chinampas. Una obra de gran importancia fue la construcción de un dique en el lago Texcoco, el cual tenía las funciones de separar las aguas salobres del lado este, del agua dulce del lado de la capital México, así como el control de crecidas. El dique poseía 16 kilóme-

tros de largo y ocho metros de ancho, construido entre 1440 y 1503 (véase figura 4). El dique tenía esclusas que permitían vaciar la laguna de México cuando el nivel de las aguas fuera peligroso, y esta construcción permitió el florecimiento de la agricultura chinampera. El agua potable se obtenía de fuentes fuera del lago, con acueductos que aprovechaban las vías de acceso.

Gibson (1984) indica que para el 1610, ya existían numerosas zonas que se iban desarrollando a medida que descendía el nivel de las aguas, y existen mapas que muestran para el año 1844 que la extensión de la laguna de Texcoco, era aproximadamente un 40% del área a la llegada del conquistador español.

La mejor forma de visualizar las condiciones geomorfológicas de la cuenca del lago Texcoco, se encuentran en las imágenes que aparecieron en la revista Construcción Mexicana de 1976, que compara el lago a la llegada de los españoles con la gran zona metropolitana del Valle de México en los años setenta (véase figura 5).

El Valle de México constituye una cuenca cerrada tipo endorreica, limitada por una serie de sierras con presencia de elevaciones nevadas por encima de los 5.000 msnm, asociadas al cinturón volcánico. La cuenca total que limita al valle es de unos 5.800 km<sup>2</sup> y el área de la laguna para comienzo del siglo XVI era de unos 1.600 km<sup>2</sup>, a cota promedio de 2.240 msnm, obteniéndose una relación entre el área de la cuenca con el área de la laguna de 3,5. Al des-



Figura 4: los lagos que formaban en 1519 el gran lago Texcoco, destacándose Tenochtitlan y el dique que separó el agua dulce de la salada. Fuente: Lake Texcoco 1519.png by Madman2001 Valley of México

cender las aguas, las áreas fueron ocupadas como extensión de la capital de Nueva España, donde los efectos de inundaciones llevaron al gobierno colonial español dar inicio a las obras de drenaje que finalmente llevaron a la desaparición de casi todo el lago de Texcoco.

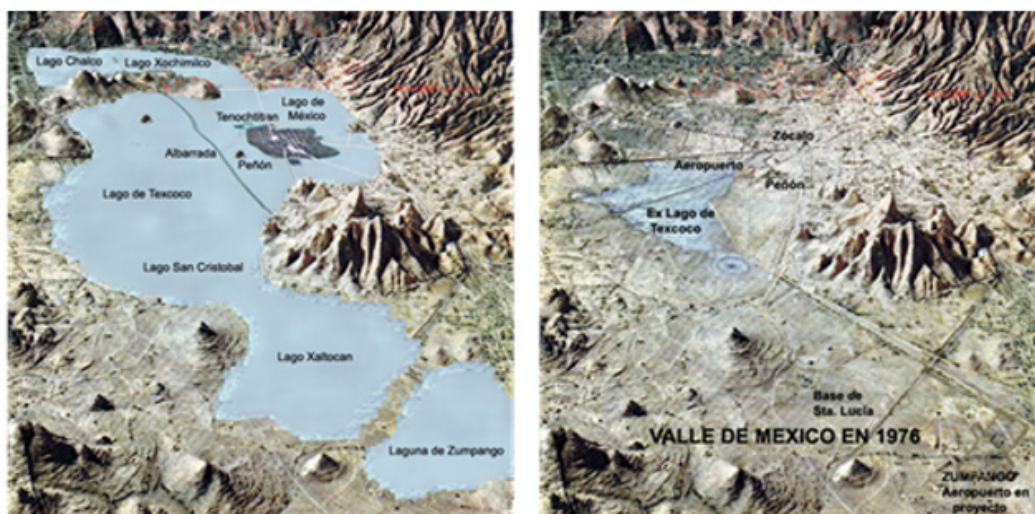


Figura 5: imagen de la revista Construcción Mexicana de 1976, que compara la desecación del lago desde 1519. Fuente: www.mexicomaxico.org

Sobre la profundidad del lago Texcoco en México poco se menciona en la bibliografía, pero debió ser muy somera, posiblemente con valores no mayores a los 5 metros, lo cual facilitó rápidamente la recuperación de tierras, con el descenso de las aguas.

## Lago de Valencia

La depresión que ocupa el lago de Valencia, también conocido como Tacarigua está delimitada por altas cadenas montañosas tanto al norte como al sur, con elevaciones máximas del orden de los 2.000 msnm. Hacia el este y oeste el relieve es suave de colinas y valles adyacentes. A la llegada de los españoles la cota del lago era 427 msnm con un área de unos 750 km<sup>2</sup> y la superficie de la cuenca es 2.646 km<sup>2</sup>, obteniéndose una relación con el área del lago a la llegada de los españoles de 3,5 similar a la del lago Texcoco (véase figura 6).

Comenzando el siglo XVI la cota del lago se mantenía en 427 msnm, la cual fue descendiendo y a partir del siglo XVIII se convierte en un lago cerrado, sin drenaje hacia el exterior, alcanzando para finales del siglo XIX la cota 417 msnm. A partir del siglo XX el lago fue descendiendo rápidamente, y en el año 1974 la cota disminuyó hasta 401 msnm. El descenso del lago fue de 26 metros en unos 200 años. Sin embargo, en la actualidad está ocurriendo el efecto inverso con el consecuente aumento de los niveles del agua debido al trasvase desde cuencas aledañas localizadas al oeste, donde se encuentran los embalse Pao-Cachinche y Pao-Las Balsas. Así mismo los niveles de contaminación de sus aguas también han venido aumentando debido a la importante industrialización de las ciudades de Maracay y Valencia, cuyas aguas residuales son vertidas directamente al lago en gran parte sin un tratamiento previo, lo que hace poco atractivo el desarrollo de actividades turísticas o recreacionales.

## Características del subsuelo en los lagos

Los sedimentos lacustres se depositan de manera cíclica a lo largo del año, en verano e invierno, y se caracterizan por su textura limosa y arcillosa, con intervalos de arena fina, depositados en capas muy

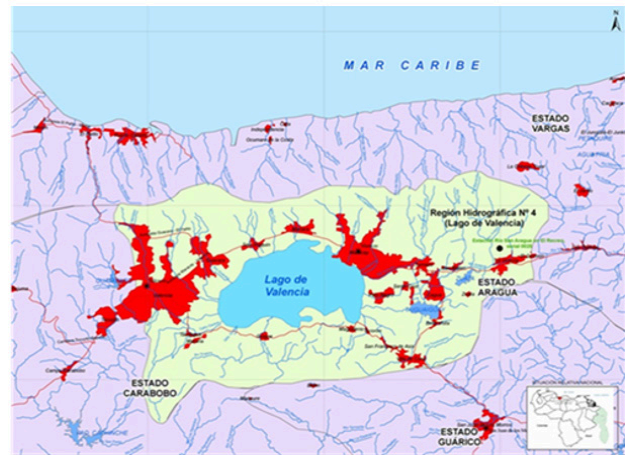


Figura 6: cuenca hidrográfica del lago de Valencia, mostrando los centros poblados de Valencia y Maracay. Fuente: MARN 1976.

delgadas con alto porcentaje de agua, denominadas varvados (*varve*). J.A. Rodríguez (2006) indica que en el lago de Texcoco, el predominio de limo arcilloso con intervalos de arena o de arcilla limosa, contienen un importante contenido de agua, indicándose humedades de más de 200%. En el lago de Valencia, los suelos se caracterizan por su color blanco-grisáceo, los cuales ocupan una extensión limitada a la cota 427 msnm, que en estado seco son fácilmente suspendidos por el viento, con escor al ser manipulados. La secuencia se caracteriza por suelos diatomáceos con presencia de caracólitos y con intercalaciones de arcillas limosas, con una secuencia típica varvados. La humedad natural alcanza valores del 80%.

En ambas cuencas, el relieve al pie de monte presenta una conformación de conos coluviales, constituidos por materiales granulares provenientes de las laderas, arrastrados durante períodos de lluvias intensas, que fue seguido por un temporadas de estabilidad climática, originando una cuenca cubierta por vegetación que permitió el desarrollo de la civilización. Posiblemente la calidad de las aguas de los lagos se fue comprometiendo con el cambio climático por un ambiente de temperaturas más bajas.

## Variación de la temperatura en el último milenio

En el último milenio, las condiciones climáticas a nivel mundial se encuentran reconstruidas en forma



detallada por distintos investigadores, mediante tecnología de isótopos principalmente la relación  $O_{18}/O_{16}$ , así como reconstrucciones climáticas mediante la gran documentación escrita. Los resultados de los estudios de Thompson L., y Davis M. (2012), Christopher Moy (2002) y Apaestegui y otros (2014), se muestran en forma resumida en la figura 7 donde se puede destacar que para el comienzo del último milenio y hasta el año 1450, corresponde con el denominado periodo cálido medieval (MCA). A partir del año 1450 la temperatura desciende hasta finales del siglo XIX, donde los glaciares en las montañas, se ampliaron hacia cotas inferiores, en el periodo denominado pequeña edad de hielo (LIA). A partir del siglo XX la temperatura asciende progresivamente, acentuándose a partir de la década de los 80 hasta el presente 2020, lo cual ha designado al cambio climático como Calentamiento Global.

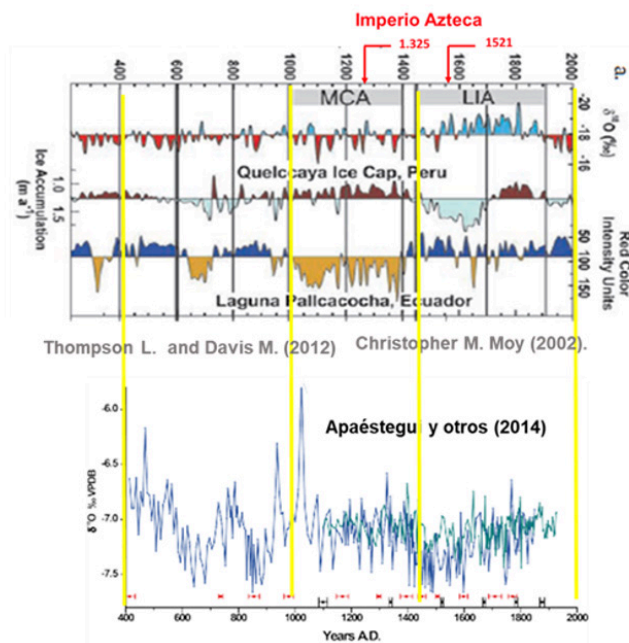


Figura 7: resultados de las investigaciones de Thompson and Davis (2012). C.M. Moy (2002) y Apaestegui and otros (2014), donde se encuentra delimitado el Imperio Azteca.

La Organización de las Naciones Unidas crea en el año 1988 e Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) por iniciativa de la Organización Meteorológica Mundial y e Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Durante el acuerdo en París (diciembre de 2015), el cambio climático asociado al aumento global de

la temperatura, condujo al consenso a nivel internacional en la necesidad de disminuir las emanaciones industriales de  $CO_2$ . Lo anterior es reforzado durante el informe de agosto de 2020, sobre el efecto de los gases invernadero en los ecosistemas del planeta.

## Condiciones climáticas desde el año 1000 al presente

En el caso de la rápida expansión de la Nueva España, fue facilitada por el rápido descenso del nivel de agua somera del gran lago Texcoco, relacionado con las condiciones climáticas de temperatura global más bajas, así como lluvias esporádicas de mayor magnitud, recordadas por haber producido grandes inundaciones. Durante la colonia española, se realizaron obras de trasvase de forma de controlar las áreas urbanizadas ganadas a los grandes lagos que existían anteriormente.

En el lago de Valencia, el retiro de las aguas fue más lento, por su mayor profundidad del orden de los 60 metros, destacándose el descenso desde la cota 427 msnm a la cota 417 msnm en el siglo XVIII. Posteriormente en el siglo XX, para el año 1974, la cota del lago descendió a 401 msnm. En la actualidad debido al trasvase de agua desde cuencas adyacentes, el nivel del lago se encuentra cercana a la cota 414 msnm, habiendo ocupado superficies de áreas pobladas, las cuales debieron ser desocupadas.

El desarrollo de las civilizaciones prehispánicas, así como la evolución de los lagos en el último milenio, puede ser relacionado con la variación mundial de la temperatura global, resultando condiciones climatológicas particulares cuya relación con el aumento en el  $CO_2$  deben ser evaluadas.

De las investigaciones de B. Christiansen, and F.C. Ljungqvist (2012), del gráfico original de variación de temperatura que abarca 2.000 años, se seleccionó el último milenio, tal como se muestra en la figura 8. Alrededor del año 1000 se evidencian altos picos de temperatura, las cuales debieron originar, como en la actualidad, una importante evaporación, afectando las áreas cubiertas por hielo. Las investigaciones de García y colaboradores (2016 y 2018) relacionan para comienzos del último milenio, previo al siglo XIII, problemas de estabilidad en las cuencas andinas, ocasionadas por lluvias torrenciales de gran duración e intensidad.

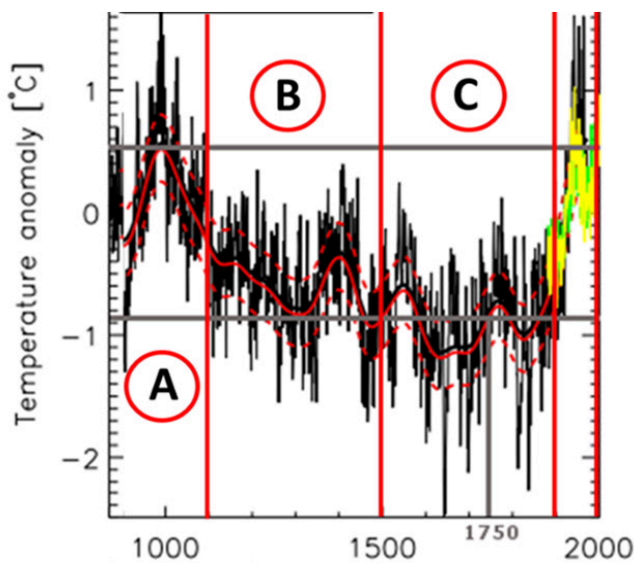


Figura 8: variación de la temperatura global entre los años 1000 a 2000, separata de los resultados de Christiansen an Ljungqvist (2012). <http://www.clim-past-net/8/765/2012/cp-8-765-2012.pdf>

Durante el desarrollo del imperio inca al igual que el azteca se debió contar con condiciones ambientales estables, temperatura en cierto rango, con periodos de veranos e inviernos equilibrados, laderas cubiertas por vegetación, con regulación de los caudales, lo que podemos aproximar a un paraíso terrenal. La estabilización del nivel de los lagos, debió estar relacionada con las condiciones climáticas favorables, las cuales cambiaron originando el descenso de las aguas a partir de la colonia española.

La figura 8, se encuentra dividida en tres franjas, denominada A, B y C, que se explican a continuación:

**Franja A**, periodo de calentamiento en los dos primeros siglos del segundo milenio, con un desbalance en el equilibrio hidrológico, con altas temperaturas, que originan un descenso en los niveles de los lagos, lluvias torrenciales, problemas de estabilidad, deslaves y efectos de erosión en las cuencas con formación de conos coluviales hacia el perímetro de las lagunas y abundantes aportes de sedimentos arenosos hacia los lagos con el consecuente ascenso del fondo.

Franja B, entre el 1200 y hacia el año 1500, ocurrió un periodo de estabilidad climática, con zonas de bosques, abundancia de fauna, constituyendo lo que se llamaría el Paraíso Terrenal. La sedimentación en los lagos es lenta y se caracteriza por un predominio de limos y arcillas, en forma varvada.

Desde el año 1400, tal como lo indica la historia, los aztecas, ocuparon el perímetro oeste del gran lago desarrollándose el imperio de Tenochtitlan, donde se encuentra en la actualidad la ciudad de México. Hacia finales del siglo XV, en el lago de Texcoco ocurrió un aumento de su salinidad, obligando a la ejecución de importantes obras hidráulicas, como la separación del agua dulce y salada.

**Franja C**, a partir del año 1500 con la llegada del invasor con gran poder y ambición de riquezas, ocurrió en Tenochtitlan el auge urbanístico, adaptado a las condiciones ambientales. En el lago de Valencia, las condiciones topográficas e hidrológicas, facilitaron la fundación de ciudades importantes: Valencia y Maracay. Desde la llegada del conquistador hasta el año de 1900, las condiciones climáticas a nivel mundial se caracterizan por bajas temperaturas, asociados a largos periodos con predominio de condiciones secas, donde las lluvias torrenciales fueron esporádicas, pero con grandes efectos hacia las áreas pobladas. El clima frío debió facilitar mayor radiación en las superficies de agua, cuya evaporación debió ser mayor en el balance hídrico, ocasionando el rápido descenso del nivel de los lagos.

Durante la expansión de la ciudad de México, las lluvias torrenciales ocasionales, causaron amplias inundaciones en las nuevas áreas pobladas, obligando a unas series de obras hidráulicas que se han prologando hasta el presente.

En las ciudades de Valencia y Maracay, no se mencionan problemas de inundación, y éstas fueron ocupando los terrenos dejados por el descenso del lago con construcción de puertos en el perímetro que facilitaban la comunicación por vía acuática.

El actual cambio climático, mal llamado «calentamiento global», relacionado con la industrialización y las emanaciones de CO<sub>2</sub>, puede estar formando parte de un ciclo similar al descrito para el principio del milenio pasado.

## Condiciones climáticas hacia el 2030

Tal como asocia Alley (2000) la variación de temperatura en los últimos 5 milenios, se asocia en ciclos de unos 1.000 años, y para el presente siglo XXI, se debería comenzar un nuevo ciclo con descenso progresivo de la temperatura. El aumento actual de la temperatura está relacionado con mayor eva-

poración hacia la atmosfera proveniente de mares, lagos, casquetes polares, ríos y zonas nevadas en montañas, y puede estar relacionado con periodos de lluvias de mayor duración e intensidad. El cambio climático es una incógnita, que requiere investigaciones relacionadas con las condiciones geológicas recientes de los paisajes donde se desarrollaron las distintas civilizaciones, cuya conformación de pendiente suave, pudieron estar relacionadas con grandes problemas de inestabilidad en la cuenca. No podemos visualizar una civilización como los aztecas y el gran auge alcanzado, sin una estabilización climática, un paisaje de bosques densos, de donde obtuvieron la energía para el fuego y la madera para la construcción. Similares condiciones se debió tener en el imperio Inca.

Cualquier paisaje actual sin presencia de bosques, en México o Valencia, asociado a la deforestación por el ser humano, está relacionado con condiciones climáticas globales a nivel mundial, donde los paisajes se han deteriorado, con eventos hidrológicos que se han intensificado en las últimas décadas, tal como lo resumen Rueter (2019) donde indica que el calor, las tormentas y las inundaciones son cada vez más fuertes y frecuentes.

Las condiciones de temperatura actuales fueron muy distintas al periodo de desarrollo de los aztecas, entre los años 1300 a 1500, donde el ciclo hidrológico fue cambiando a temperaturas bajas, y en la actualidad alcanza valores más elevados. En el siglo xx, el alza brusca de la temperatura comenzó en la década de los 80, y continúa en el actual 2020, y nos lleva a cuestionar el escenario hacia el año 2030. Las lluvias podrán ser más frecuentes, de mayor intensidad, con caudales excepcionales, saturando las laderas, ocasionando problemas de estabilidad y deslaves afectando áreas pobladas.

## Agradecimiento

Durante el desarrollo del presente artículo se contó con la colaboración del Ingeniero Juan Carlos Martínez, profesor de pregrado y posgrado de la Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, especialista en planificación e Ingeniería de los recursos hidráulicos, cuyos comentarios y recomendaciones fueron de gran interés.

- Altamirano José L. (2018) Lago de Texcoco (PDF) | Academia.edu [www.academia.edu](http://www.academia.edu) › Lago\_de\_Texcoco.
- Alley Richard B. (2000). The Two-Mile Time Machine: Ice Cores, Abrupt Climate Change, And Our Future. Princeton University Press. 229 P.
- B. Christiansen and FC Ljungqvist (2012). The extra-tropical northern hemisphere temperature in the last two millennia: reconstructions of low-frequency variability. *Climate of the past*.
- Carrasco, Pedro. (1996). Estructura político-territorial del Imperio tenochca. La Triple Alianza de Tenochtitlan, Tetzco y Tlacopan. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Cervera Obregón, Marco A. (2008). Breve historia de los aztecas. Nowtilus, Madrid.
- García R.R (2016). Los deslaves en la evolución de las civilizaciones desde los romanos hasta los incas. Revista Tekhne N°18, Universidad Católica Andrés Bello (UCAB). Caracas, Venezuela.
- García R.R y García E. R. (2017). La Evolución Del Imperio Inca Y La Civilización En La Isla De Pascua, Efectos Similares Hacia el 2030. *Rev. Tekhné*. Vol. 20, Núm 3. Facultad de Ingeniería, UCAB. (2017):003-017
- Gibson, CH. (1984). Los aztecas bajo el dominio español (1519-1810). <https://books.google.co.ve/books?isbn=9682301440>
- J. Apaéstegui1 and otros (2015). Hydroclimate variability of the northwestern amazon basin near the andean foothills of peru related to the south american monsoon system during the last 1600 years. *Climate of the Past*. European Geosciences Union (EGU), 2014, 10 (6), pp.1967-1981. Hal-01139570.
- Jorge A. Díaz Rodríguez,(2006). Los suelos lacustres de la ciudad de México. *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 6(2). URL [https://www.scipedia.com/public/Rodríguez\\_2006a](https://www.scipedia.com/public/Rodríguez_2006a)
- Moy, C.M., et all., (2002). Laguna Pallcacocha Sediment Color Intensity Data. IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2002-76. NOAA/NCDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.
- Rueter G.(2019). Calentamiento global: cada vez más muertes y pérdidas materiales. <https://p.dw.com/p/3UEMW>
- Thompson L. and Davis M. (2014). An 1800 year ice core history of climate and environment in the andes of southern peru and relationship with higland/lowland cultural oscillations. Chapter 23. [bprc.osu.edu/lcecore](http://bprc.osu.edu/lcecore)

# Impuestos ambientales en México. Una opción para elevar la recaudación tributaria y mejorar el medio ambiente\*

Fotografía: ©hramovnick | AdobeStock

## Introducción

82 ENTRE LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO NO ES FÁCIL encontrar una política de crecimiento y de desarrollo económico de largo plazo; además, los problemas ambientales parecen ser irrelevantes para la toma de decisiones de política económica. Lo anterior obedece a que existe una restricción fiscal que conduce a los gobiernos, en sus diferentes niveles, a no comprometerse con la asignación de un presupuesto público suficiente con fines de gestión ambiental (Acquatella, 2005). Lo anterior refleja, además, una escasa o nula coordinación entre la política fiscal con la gestión ambiental, lo que obstaculiza definir a nivel local y nacional los objetivos de una adecuada agenda de trabajo en beneficio del medio ambiente.

Los gobiernos de los países en vías de desarrollo enfrentan también la presión política de suavizar los efectos de la desigualdad social provocados por la inadecuada estructura económica del país y llevan a cabo políticas cuyo alcance es de corto plazo; esto es, dan respuesta a eventos coyunturales, en lugar de buscar soluciones estructurales que permitan crear condiciones para que la economía se desarrolle de manera sustentable y contribuir al equilibrio ecológico (Galán, 2019).



Javier Galán Figueroa

Doctor en Economía por el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y maestro y licenciado en economía por la UNAM. Actualmente es Profesor y Coordinador de la especialización en Economía Monetaria y Financiera del Programa Único de Especializaciones en Economía de la UNAM.



José Luis Clavellina Miller

Investigador "C" de la Dirección General de Finanzas. Doctor en economía por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

@JLCLMILLER

\* Los autores agradecen la valiosa colaboración de Xóchitl Martínez Mérida en el desarrollo de este trabajo.

## Cambio climático: una externalidad del fallo de mercado

En cambio, algunos países desarrollados han acudido a medidas de tipo normativo, buscando involucrar a la sociedad para que contribuya en la reducción de las causas y los efectos del cambio climático. Entre estas medidas se encuentran los impuestos ambientales (Bosquet, 2000, Mendezcarlo, *et al.*, 2010 y García, 2017), los cuales tienen como objetivo: *i)* regular el comportamiento humano con el propósito de incentivar el adecuado aprovechamiento de los recursos naturales, *ii)* promover la innovación para favorecer el cambio tecnológico, y *iii)* recaudar ingresos públicos para financiar programas que reviertan el desgaste y la contaminación del medio ambiente provocados por la actividad económica.

Para Barcenas y Acquatella (2005) los impuestos ambientales son un mecanismo para eliminar o reducir las distorsiones estructurales provocadas por las actividades contaminantes<sup>1</sup> y así robustecer las medidas ambientales existentes.

El presente documento tiene como objetivo analizar las posibles aplicaciones de los impuestos en materia de medio ambiente en la economía mexicana como mecanismo para crear conciencia entre la población sobre la importancia del cuidado del medio ambiente. Además, mostrar que los impuestos ambientales pueden ser utilizados para elevar la recaudación y financiar programas que ayuden a mitigar los efectos del cambio climático.

El documento se encuentra integrado por cuatro secciones; en la primera se explica la importancia de mantener un equilibrio entre el desarrollo económico con el medio ambiente, partiendo del hecho de que la contaminación es un fallo de mercado. En la segunda sección, se describen las bases que se requieren para poner en marcha una política fiscal con carácter ambiental. En la tercera sección, se presenta una propuesta en materia de impuestos ambientales para la economía mexicana, donde se utiliza como bien gravable el tráfico de datos a través del internet. Por último, se presentan las conclusiones y algunos comentarios de carácter general.

1 Entre estas distorsiones se encuentra la volatilidad de los precios de los alimentos. Granados *et al.* (2020) explican cómo los choques de tipo ambiental (sequías, inundaciones o heladas) afectan a la producción de alimentos y elevan sus precios originando así una crisis de seguridad alimentaria. La ocurrencia de este tipo de fenómenos hace que profundicen los problemas estructurales, en particular en los países subdesarrollados.

El cambio climático es un proceso degenerativo del ecosistema provocado por el desarrollo de las economías de manera desordenada y sin considerar el equilibrio ecológico<sup>2</sup>. Las economías en desarrollo presentan una mayor vulnerabilidad ante este fenómeno pues cuentan con una estructura política y económica débil y sus acciones para mitigar los efectos del cambio climático resultan insuficientes o inefectivas. Para abordar esta problemática, los diferentes niveles de gobierno deben comprender la importancia de llevar a cabo políticas económicas que conduzcan a un desarrollo sustentable<sup>3</sup>, en donde el cuidado del equilibrio del ecológico sea prioritario en la misma categoría que la estabilidad macroeconómica. Para ello, es importante incluir en el diseño de la política económica aquellos factores que son fuentes de contaminación y que inciden sobre el cambio climático (Galindo y Caballero, 2011). Otro aspecto que considerar es que el cambio climático impone restricciones a los gobiernos para cumplir con sus compromisos en materia económica y social. Esto se debe a la falta de coordinación y congruencia entre los objetivos de política económica con los ambientales; e incluso, a la ausencia de un marco normativo que dé certeza institucional al diseño y conducción de una política ambiental óptima y que esté *ad hoc* con los acuerdos internacionales (como el protocolo de Kioto y el acuerdo de París). Para alinear los objetivos de política económica con los ambientales, es necesario identificar cuáles son las actividades y fuentes contaminantes. Una vez identificadas, las autoridades deben diseñar los instrumentos eco-

2 Se entiende por equilibrio ecológico como aquella situación en donde mantiene una relación de estabilidad entre la naturaleza y sus ecosistemas con las actividades del ser humano entre ellas las económicas. Mientras el desequilibrio es la situación en el cual se ha alterado la relación de estabilidad de la naturaleza y de sus ecosistemas debido al mal uso de los recursos naturales.

3 El Desarrollo sustentable se alcanza mediante el uso de procesos productivos eficientes, en donde no exista desperdicio de los recursos naturales o permitan mantener la armonía entre el medio ambiente y la rentabilidad económica. Lo anterior será posible mediante una adecuada planificación de los procesos productivos y con la acción participativa de la sociedad. Esto permitirá crear las condiciones para un progreso social que estará sustentada por los incrementos futuros de la rentabilidad sin comprometer el medio ambiente y la calidad de vida de la raza humana.

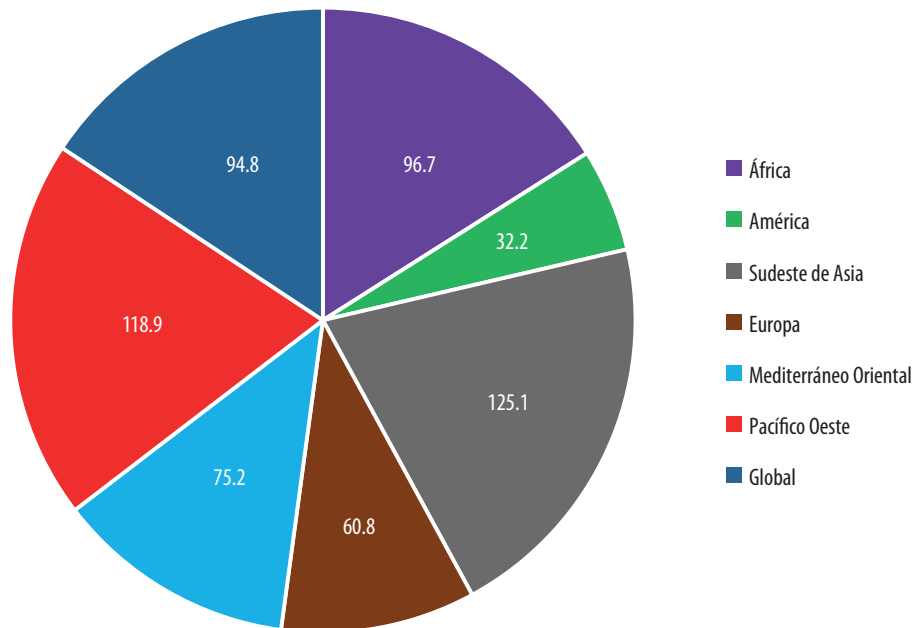
nómicos para gestionar la política ambiental (Acquatella, 2005).<sup>4</sup>

Uno de los efectos negativos es la presencia de un exceso de gases de efecto invernadero, el medio ambiente es incapaz de neutralizarlos debido, entre otras causas, a la deforestación o por la degradación alarmante de los ecosistemas. Este

4 De acuerdo con Nordhaus (2007); López, (2007); Stern, (2008) y Wending *et al.*, (2018) esta anomalía se debe al desequilibrio acumulado entre el desarrollo económico de la humanidad con el medio ambiente.

desequilibrio ecológico se ha reflejado con mayor intensidad en el incremento de la temperatura atmosférica, variaciones en la precipitación pluvial y presencia de climas extremos tales como sequías o inundaciones. Asimismo, el surgimiento de enfermedades o de plagas, son también efectos colaterales del deterioro ambiental, que podría poner en riesgo la subsistencia de varias especies, entre ellas la humana (véase gráfica 1).

**Gráfica 1. Mortalidad atribuible a la contaminación ambiental (Población por cien mil)**



Fuente: elaboración propia con datos de la OMS.

Por lo anterior, Austin (1999) considera a la contaminación y sus efectos negativos como una falla de mercado. De ahí la importancia de controlarla y prevenirla a fin de reducir el impacto del desequilibrio ecológico en la economía, el cual se ha reflejado en: *i)* pérdida de superficie utilizada para el cultivo y cosecha de alimentos, provocando así una crisis de seguridad alimentaria acompañada por efectos colaterales, tales como: incremento del precio de los alimentos, desnutrición, baja productividad laboral, entre otras; *ii)* bajo o nulo acceso al agua; *iii)* enfermedades crónicas y mortales; *iv)* desigualdad económica que incide en el incre-

mento de las zonas de marginación o pobreza; y *v)* migración masiva de personas a nivel nacional e internacional.<sup>5</sup>

Si los gobiernos tienen el interés de mitigar los efectos del cambio climático, deben entonces coordinar sus estrategias buscando alcanzar un

5 De acuerdo con Rigaud *et al.* (2018) los impactos cada vez mayores del cambio climático obligarán a alrededor de 140 millones de personas a migrar a otras ciudades dentro de su propio país o en otros para el año 2050. Las zonas con mayor probabilidad para este éxodo humanitario se localizan en los países clasificados como subdesarrollados o con fuertes problemas de desigualdad social, tales como África al sur del Sahara, Asia meridional y América Latina.

desarrollo sustentable con equilibrio ambiental. Esta coordinación debe estar sustentada por las siguientes condiciones: *i)* el uso racional de los recursos naturales, *ii)* grado de desarrollo del país, *iii)* educación ambiental de la población, y *iv)* actitud y responsabilidad mediante la prevención y coordinación entre los objetivos de la política económica con la meta del desarrollo sustentable.

## Diseño de los impuestos ambientales

Ante el deterioro ambiental y el fracaso de los acuerdos internacionales para que los países reduzcan las emisiones de los gases de efecto invernadero (Persson, 2019), las economías con mayor desarrollo han impulsado reformas fiscales con sentido ambiental. Sin embargo, cualquier reforma fiscal que se lleve a cabo en materia ambiental, debe estar diseñada de manera óptima, a fin de no generar distorsiones que pongan en riesgo el equilibrio macroeconómico. Ante esta restricción, los gobiernos deben tener en cuenta el principio óptimo-eficiente de Ramsey (1927) y Stiglitz (2000), el cual consiste en que las autoridades deben crear una estructura tributaria que favorezca el sano desempeño de las actividades económicas evitando así que el gobierno se convierta en el principal obstáculo.

Lo anterior podrá ser alcanzable siempre y cuando el gobierno reconozca que los impuestos ambientales no deben ser considerados como un complemento al gasto público; sino que se debe partir de la condición de que este tipo de instrumentos serán utilizados para regular el comportamiento de los agentes que interactúan en la economía (empresas, individuos y gobierno) y así poder regular tanto las fuentes como las emisiones de contaminación. Además, los recursos obtenidos por esta vía deben estar destinados exclusivamente a financiar programas de mitigación del cambio climático, a su prevención y gestión ambiental. Por ello, los impuestos ambientales son considerados como mejores respecto de otros instrumentos, pues se sustentan en incentivos del sistema de precios del mercado, permitiéndoles ser flexibles, dinámicos y efectivos (OCDE, 2012). En los trabajos de Austin (1999), Acquatella (2005), Mendezcarlo *et al.* (2010) y Cremer *et al.* (2010) se aboga por su uso, al ser más eficientes en comparación con aquellos

que son utilizados como medidas de regulación de tipo cualitativa.<sup>6</sup>

Para evitar ambigüedades en cómo llevar a cabo el esquema tributario en materia ambiental y no incidir negativamente en la competitividad y productividad de la economía, los impuestos ambientales deben estar vinculados de manera directa a la cantidad o al flujo de contaminación. Sin embargo, dado que la medición de las cantidades es en muchas situaciones complejas, la literatura sugiere utilizar indicadores proxy para las emisiones de las cantidades o flujos de los principales contaminantes. Como es el caso del CO<sub>2</sub> cuya fuente principal proviene de la combustión de los combustibles fósiles (gasolina/diésel) que son consumidos por el transporte público y privado.

Para Mendezcarlo *et al.* (2010) el traslado del costo de la contaminación a los agentes mediante una tarifa ambiental afectará inicialmente el bienestar social a cambio de que, en el largo plazo, los gobiernos puedan promover la innovación, el progreso tecnológico y sin descuidar el equilibrio dual entre el crecimiento económico con el medio ambiente. Por tanto, a fin de obtener el máximo beneficio social con el menor costo, es necesario que la estrategia cuente con impuestos ambientales diseñados bajo los siguientes principios teóricos: *i)* el principio de Arthur Pigou, *ii)* el principio de Ronald Coase, y *iii)* el principio de la credibilidad.

El principio de Arthur Pigou (1920), *el que contamine paga*, tiene como objetivo que los agentes se responsabilicen de los daños causados por la contaminación del medio ambiente. Este principio consiste en utilizar el sistema de precios de la economía para corregir las externalidades negativas o los fallos de mercado mediante una tasa impositiva (impuesto pigouviano) igual o equivalente al daño ecológico causado.

En tanto que, el principio de Ronald Coase (1960) se considera como una crítica al principio de Pigou en el sentido de que el sistema de precios puede generar mayores costos a lo previstos, por lo que sus objetivos pudieran no ser alcanzados, de forma que se requiere la participación del Estado

6 Un ejemplo de ello es el programa "hoy circula" donde se restringe la circulación de aquellos automóviles que presentan los siguientes atributos: *i)* antigüedad mayor a 10 años, *ii)* calcomanía 0, 00, 1 o 2, cada una de ellas expresa el nivel de contaminación del automóvil, y *iii)* un vehículo es clasificado contaminante si sus emisiones se encuentran por encima de un rango predefinido por la autoridad.



Fotografía: ©wonderisland | AdobeStock

y sus entes reguladores para igualar dichos costos, a fin de que los impuestos ambientales cumplan con su función. El principio de Coase consiste en llevar a cabo la premisa, *el que paga contamina*; y así evaluar hasta qué punto es tolerable aquella actividad contaminante, la cual está en función de los beneficios económicos que produce y aporta a la sociedad, como la generación del empleo, ingreso, pago de impuestos, desarrollo regional, entre otras (Acemoglu *et al.* 2004).<sup>7</sup>

Finalmente, la incorporación del enfoque de la credibilidad hace que las políticas ambientales tengan el respaldo y la confianza de la sociedad, ya que las acciones de los gobiernos estarán enmarcadas dentro de una estructura normativa, lo que les obliga cumplir con sus metas predefinidas sin desviarse de ellas (Galán, 2014).

Con la combinación de estos principios (Pigou, Coase y credibilidad), la eficacia de una reforma fiscal ambiental dependerá del diseño, ejecución y transparencia de los impuestos ambientales. Si los

7 Con la intervención del estado o de las instituciones se busca una adecuada supervisión y regulación de los impuestos ambientales mediante normas y contratos, de tal manera que se respeten los derechos de los individuos (para el caso del presente documento el derecho de un ambiente sano). Su intervención se justificará en aquellas circunstancias en donde prevalecen mercados poco desarrollados, para que el sistema de precios pueda apoyarse de un marco normativo que regule las actividades contaminantes.

gobiernos sólo implementan un determinado impuesto ambiental sin comunicarlo de manera adecuada y sin transparencia, la sociedad rechazará la política por no ser creíble, obligando a la autoridad incurrir a un elevado costo social.

La propia OCDE (2012) señala las siguientes ventajas que una economía puede obtener al implementar impuestos ambientales: *i)* las autoridades podrán disminuir las emisiones contaminantes incentivando la eficiencia energética reduciendo los componentes contaminantes en el proceso productivo mediante la incorporación de tecnologías limpias; *ii)* si los impuestos están correctamente diseñados y se cumple el criterio de la credibilidad, se creará un círculo virtuoso a favor del medio ambiente; *iii)* los impuestos serán altamente transparentes a fin que la sociedad tenga claro cuáles son las actividades y las fuentes contaminantes que se encuentran gravadas, así como informar sobre el uso de los recursos recaudados por la reforma fiscal ambiental; *iv)* la incorporación de tecnologías limpias permiten reducir el costo social de los impuestos ambientales.<sup>8</sup>

8 Sin credibilidad y con gobiernos discrecionales, los impuestos ambientales pueden ser utilizados para subsidiar actividades contaminantes, lo que provocaría el fracaso de la política; además, la sociedad dejaría de tener confianza en la autoridad y de cooperar en el combate contra la contaminación.



## Propuesta de un Impuesto ambiental a la economía digital

El diseño de cualquier estrategia para implementar los impuestos ambientales en México debe partir del acuerdo de París. En él se plantea como meta principal, mantener el incremento de la temperatura global por debajo de los 2 grados centígrados respecto a los niveles preindustriales. Así mismo se ha fijado mantener la temperatura global a un nivel 1.5 grados centígrados a fin de evitar los efectos

catastróficos del cambio climático sobre los países más vulnerables.<sup>9</sup>

9 Los 195 países que dieron origen al acuerdo de París fijaron como objetivo reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero y buscar el equilibrio entre los gases emitidos con aquellos que son absorbidos de manera natural a partir de la segunda mitad del siglo veinte.

**Tabla 1. México: Meta de emisiones de efecto invernadero para 2030. Mt CO<sub>2</sub>**

Fuente de emisiones	Línea base				Meta no condicionada 2030	Tasa de variación %
	2013	2020	2025	2030		
Transporte	174	214	237	266	218	-18
Generación de electricidad	127	143	181	202	139	-31
Residencial y comercial	26	27	27	28	23	-18
Petróleo y gas	80	123	132	137	118	-14
Industria	115	125	144	165	157	-5
Agricultura y ganadería	80	88	90	93	86	-8
Residuos	31	40	45	49	35	-29
Sutotal	633	760	856	941	776	-18
USCUS	32	32	32	32	-14	-144
Emisiones totales	665	792	888	973	762	-22

**Fuente:** tabla tomada de los Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030.

**Nota:** USCUS: Usos del suelo, cambio del uso del suelo y silvicultura.

Entre las principales fuentes de contaminación se encuentran el consumo de combustibles fósiles, la generación de electricidad (para uso residencial y comercial), la agricultura y ganadería, así como el manejo de los residuos. Con base a las metas que se ha fijado el gobierno mexicano para cumplir con el compromiso adquirido en el acuerdo de París, se puede definir una propuesta de impuestos ambientales para la economía mexicana en donde además de incrementar los ingresos tributarios se satisfagan los principios de Pigou, Coase y el de credibilidad.

Entre las industrias que más generan gases de efecto invernadero, además del transporte, es la generación de electricidad y recientemente las tecnologías móviles cuya característica principal es estar conectadas al internet. De acuerdo con Belkhir y

Elmeligi (2018) entre los principales consumidores de la electricidad se encuentra la economía digital, entre ellas destacan la telefonía móvil, el internet, correo electrónico, la nube de internet, entre otras, las cuales se están convirtiendo en uno de los sectores más contaminantes.

Para mostrar lo anterior se considera la investigación de Beners-Lee (2011) y de Tsukayama (2017) quienes realizaron una descripción contable sobre las actividades consideradas fuentes de contaminación y cuya huella de carbono es medida a través de las emisiones de CO<sub>2</sub>. De esta manera en la tabla 2 se muestra un conjunto de variables consideradas fuentes de contaminación. Entre ellas destacan el envío de correspondencia electrónica, ver televisión, escuchar música a través del internet, jugar algún videojuego, entre otras.

**Tabla 2. Principales fuentes contaminantes a través de la economía digital**

Fuente contaminante	Huella de carbono medido en CO <sub>2</sub>
Mensaje de texto	0.014g por mensaje. Equivalente 32 mil toneladas en un año a nivel global
Una búsqueda o consulta en la web	La compañía Google estima que en promedio una consulta genera 0.2g Consulta a través de una computadora portátil genera 0.7g en promedio Consulta a través de una computadora de escritorio la emisión es de 4.5g Google estima alrededor de 200 a 500 millones de consultas por día. Esto equivale 1.3 millones de toneladas por año
Un correo electrónico	0.3g por spam en el correo electrónico 4g por un correo normal 50g por correo electrónico con un archivo adjunto En un año el correo entrante agrega en promedio 136kg de emisiones por persona o el equivalente de 321 kilómetros por conducir un automóvil
Una hora de televisión	37g Pantalla plana LCD de 15 pulgadas 84g TV CRT de 28 pulgadas 97g Pantalla de plasmade 42 pulgadas Una hora por día en la pantalla LCD de 37 pulgadas tiene una huella de 35 kg por año, equivalente a 39 millas en un automóvil promedio que funciona con gasolina
Una hora de uso del teléfono	El uso de celular por hora al día equivale a 1250 kg al año
Una hora de Netflix	300g por usuario. Al año equivale 48 toneladas
Tramisión de música	Transmitir un álbum musical consume la misma energía eléctrica que producir y enviar un CD
Jugar videojuegos	Se estima que el consumo de energía a nivel global por las consolas de videojuegos es de 8 mil gigavatios por hora por lo que al término de su ciclo de vida habrán emitido 3 millones de toneladas de emisiones

Fuente: elaboración propia con base en Berners-Lee (2011) y Tsukayama (2017).

El uso de los teléfonos inteligentes es considerado actualmente como una de las principales fuentes de contaminación a través del consumo de energía eléctrica y por la generación de residuos. De acuerdo con el estudio de Belkhir y Elmeligi (2018) la contaminación generada mediante los teléfonos inteligentes presenta una trayectoria creciente para las siguientes décadas. Esto se debe a una economía contemporánea que depende cada vez más de la conexión a internet. Este avance tecnológico implicará un incremento significativo en la demanda de electricidad por parte de la denominada economía digital. Por lo que las emisiones de efecto invernadero podrían incrementarse significativamente (siempre y cuando se produzca a través de los combustibles fósiles).

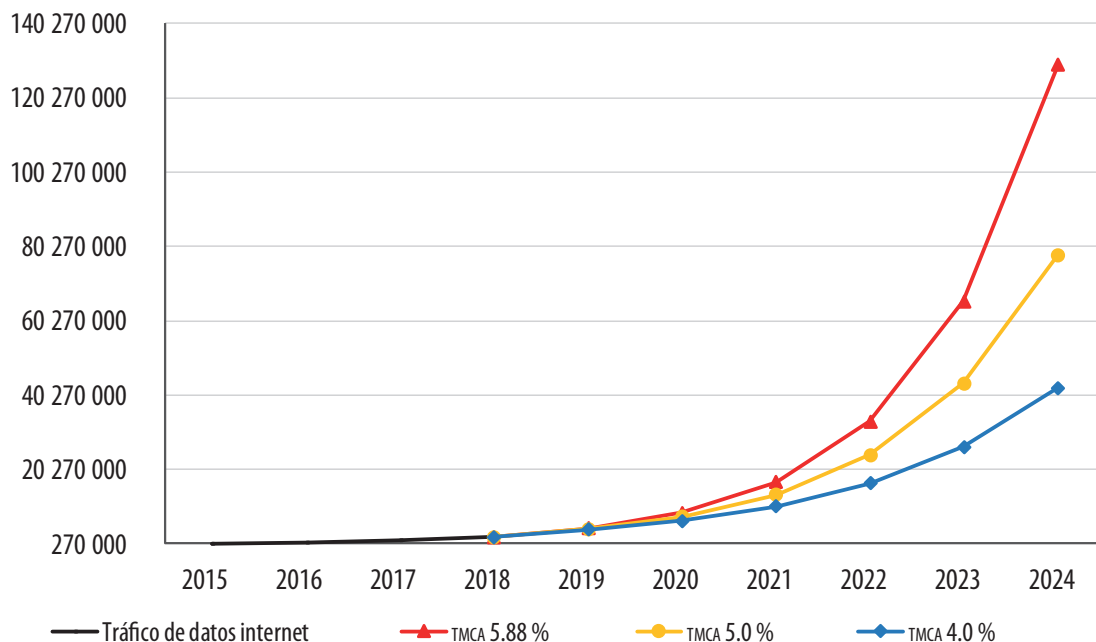
Por otro lado, la migración de los usuarios de los servicios tradicionales a los medios digitales de telecomunicación donde el internet es el principal insumo permitirá, en los próximos años, el desarrollo de nuevos productos o servicios, los cuales demandarán una mayor cantidad de energía eléctrica.

El gobierno deberá prever esta situación y actuar en consecuencia buscando las alternativas para satisfacer la cantidad demandada de energía. Sin embargo, el gobierno mexicano se enfrenta a la restricción presupuestal para financiar este tipo de actividades. Esto lo obliga buscar instrumentos de política económica a fin de obtener los recursos requeridos para la generación de energía ya sea a través de los combustibles fósiles o mediante energías limpias.

Entre los instrumentos de política con que cuenta el gobierno para dar solución a la restricción anterior podría pensarse en un impuesto ambiental al uso del internet, donde la cantidad de datos consumidos sea el objeto gravado. La tendencia mensual del tráfico total de datos a través del internet y que es consumido a través de la infraestructura de la economía digital. Se aprecia que el tráfico de datos a través del internet muestra una tendencia significativamente creciente a partir de 2018. Esto también indica como los usuarios de las tecnologías móviles se han incrementado y se espera en meses próximos se mantenga esta tendencia.

El impuesto sobre el tráfico de datos se puede implementar tomando como base gravable que, por cada 500 *megabytes* de datos transmitidos el usuario pague una tasa impositiva, por ejemplo. En el presente documento se presenta este caso de manera ilustrativa (esto debido a que se requiere un estudio más detallado en donde se determine la magnitud de la tasa impositiva sobre el tráfico de datos y sus efectos sobre los siguientes aspectos: ingresos públicos, industria de las telecomunicaciones, incidencia ambiental, hábitos de consumo de los usuarios, entre otros).

**Gráfica 2. Proyección del Tráfico Total de Datos al cierre del año 2024. Unidad de medida: Megabytes**



**Fuente:** elaboración propia con datos del IFT.

**Nota:** la Tasa Media de Crecimiento Acumulada, *TMCA*, de 5.88% se obtuvo por Mínimos Cuadrados Ordinarios, *MCO*.

A partir de esto último se considera la gráfica 2, en donde se muestra tres posibles trayectorias del tráfico total de datos al cierre del año 2024. Estas se proyectaron mediante el uso de las tasas medias de crecimiento acumuladas absolutas (*TMCA*). Para el caso de la *TMCA* de 5.88 por ciento es considerada como el escenario de crecimiento alto y se obtuvo mediante el uso del método de estimación de los mínimos cuadrados ordinarios (*MCO*). Mientras las

otras tasas son definidas para escenarios de crecimiento medio (5.0 por ciento) y bajo (4.0 por ciento).

Para el año 2024 se proyecta un nivel de tráfico de datos alrededor de 258 mil millones de *terabytes*. Si a este nivel de consumo de datos se le aplica una tasa impositiva de 50 centavos por cada 500 mb, el ingreso recaudado sería de 129 mil millones de pesos aproximadamente. En cambio, si la tasa impositiva es de 3 pesos por cada 500 MB el

gobierno podría obtener una recaudación aproximada de 775 mil millones de pesos. De esta forma, la tabla 7 muestra los posibles ingresos que podría

recaudar el gobierno en tres escenarios: alto, medio y bajo con una TMCA de 5.88, 5.0 y 4.0 por ciento respectivamente.

**Tabla 3. Ingresos recaudados por el impuesto ambiental por el tráfico de datos**

Escenario alto: TMCA 5.88%		
Total de tráfico de datos	Impuesto en pesos	Ingresos recaudados
Terabytes (TB) 129 186 458 884 269.00	0.5	\$ 129 186 458 884.27
	1.0	\$ 258 372 917 768.54
Megabytes gravados (500 MB) 258 372 917 768.54	1.5	\$ 387 559 376 652.81
	2.0	\$ 516 745 835 537.08
	2.5	\$ 645 932 294 421.35
	3.0	\$ 775 118 753 305.62
Escenario medio: TMCA 5.0 %		
Terabytes (TB) 77 898 329 095 662	0.5	\$ 77 898 329 095.66
	1.0	\$ 155 796 658 191.32
Megabytes gravados (500MB) 155 796 658 191.32	1.5	\$ 233 694 987 286.99
	2.0	\$ 311 693 316 382.65
	2.5	\$ 389 491 645 478.31
	3.0	\$ 467 389 974 573.97
Escenario bajo: TMCA 4.0 %		
Terabytes (TB) 42 213 908 938 334.50	0.5	\$ 42 213 908 938.33
	1.0	\$ 84 427 817 876.67
Megabytes gravados (500 MB) 84 427 817 876.67	1.5	\$ 126 641 726 815.00
	2.0	\$ 168 855 635 753.34
	2.5	\$ 211 069 544 691.67
	3.0	\$ 253 283 453 630.01

Fuente: elaboración propia con datos del IFT.

Nota: se considero que 1 TB contiene 1 millón de MB.

En la tabla 4 se muestra la relación porcentual de los ingresos del impuesto al tráfico de datos, para un TMCA de 5.88 por ciento, con respecto a lo recaudado por el gobierno en 2018 a través del ISR, IVA y el IEPS. De acuerdo con la tabla 4, si se cobra un impuesto de 50 centavos por cada 500 MB consumidos, los ingresos representarían el 8 por ciento del ISR, mientras para el IVA y el IEPS lo recaudado representaría el 14 y 37 por ciento respectivamente.

Esto es equivalente a 2.6 veces del presupuesto de la UNAM para 2019 de 44.9 mil millones de pesos. Si en lugar de cobrar 50 centavos, el gobierno establece el impuesto en 3 pesos por cada 500 MB, la cantidad recauda sería del 47, 84 y 223 por ciento

con respecto al ISR, IVA y el IEPS respectivamente. Esto a su vez representaría 15.5 veces lo que ejercerá la unam como presupuesto para todo el 2019.

La recaudación de este impuesto puede llevarse a cabo a través del IEPS, ya que este es fácil de aplicarse, además debe estar condicionado al tráfico de datos. La única restricción que debería existir es lo referente a su transparencia y a los canales de comunicación que el gobierno debe utilizar para informar a los usuarios del internet los motivos de implementar este impuesto ambiental, además de comunicar sus beneficios que se pueden obtener al hacer uso de los ingresos recaudados.

**Tabla 4. Comparativo porcentual Impuesto sobre el tráfico de datos con respecto al ISR, IVA e IEPS**

Recaudación de 2018 millones de pesos	Recaudación según el valor monetario del impuesto			
	\$ 0.50	\$ 1.00	\$ 2.00	\$ 3.00
ISR \$1 664 241.71	8 %	16 %	31 %	47 %
IVA \$922 238.29	14 %	28 %	56 %	84 %
IEPS \$347 435.49	37 %	74 %	149 %	223 %

Fuente: elaboración propia con datos de la SHCP.

Nota: para elaborar la tabla se consideró los ingresos de la tabla 5 para un TMCA de 5.88 por ciento.

Lo anterior permitirá que la estrategia goce de credibilidad para no ser considerada regresiva, tal como ha sucedido con el IEPS a las gasolineras en donde la sociedad no conoce cuál es la proporción correspondiente al impuesto ambiental, así como sus usos. Esto ha opacado la importancia del IEPS a las gasolineras como instrumento para que el gobierno pueda financiar el gasto público. Para el caso particular de los ingresos recaudados por el impuesto ambiental al tráfico de datos, estos deben estar orientados a mitigar los efectos del cambio climático, además de cumplir con los compromisos que el gobierno adquirió al firmar el acuerdo de París.

## Conclusiones

Entre los instrumentos fiscales con que cuentan los gobiernos, los impuestos ambientales han sido utilizados como mecanismo para incidir en el comportamiento de los agentes económicos y que estos últimos adquieran conciencia sobre la problemática de los efectos del cambio climático. A través de la recaudación de este tipo de impuestos los gobiernos pueden poner en marcha acciones orientadas a la mitigación de la contaminación.

El presente documento tuvo a fin analizar este tipo de instrumentos de política fiscal como alternativa para utilizarlos como: *i)* estrategia para mitigar los efectos del cambio climático en la economía, y *ii)* mecanismo de recaudación tributaria, cuyos ingresos sean utilizados para financiar programas orientados en proteger el medio ambiente o revertir los daños ambientales ocasionados por la contaminación.

Los países en vías de desarrollo enfrentan el reto de diseñar una política tributaria en donde no

solo se considere regular el comportamiento de la sociedad en materia ambiental, sino también la obtención de recursos fiscales para financiar aquellos programas orientados en recuperar o mantener el equilibrio ecológico, sin generar presiones sobre la asignación del gasto público, como aquel destinado en reducir las desigualdades sociales o en el combate a la pobreza. El uso de los impuestos ambientales podría reducir esta restricción.

Una posible incorporación de impuestos ambientales en México debe considerar los principios de Pigou, Coase y de credibilidad. Es decir, es necesario incorporar los mecanismos de precios de la economía para incentivar el uso racional de los recursos y promover la innovación tecnológica para introducir procesos productivos que sean amigables con el medio ambiente. Las instituciones del Estado deben crear las condiciones de un adecuado desarrollo de los mercados mediante normas que regulen sobre el comportamiento de los agentes en beneficio del medio ambiente.

Bajo los enfoques de Pigou, Coase y credibilidad, se realizó un ejercicio ilustrativo sobre la puesta en marcha de un impuesto ambiental al tráfico de datos a través del internet. De acuerdo con la literatura, las actividades que integran a la economía digital se encuentran entre las más contaminantes por su alto consumo de energía y están clasificadas entre las principales fuentes del CO<sub>2</sub>. Por lo anterior, se prevé que el tráfico de datos a través de internet siga su expansión de manera significativa, ya que las emisiones contaminantes subyacentes a la industria digital también se incrementarán en los próximos años. Esta expansión se acelerará conforme la sociedad acceda las tecnologías móviles.

De acuerdo con los escenarios utilizados, el monto potencial del impuesto puede llegar a re-

presentar desde el 18 al 84 por ciento del IVA de 2018. Esto indica que el diseño y uso de este impuesto podría ayudar al gobierno en recaudar un monto considerable de recursos para financiar los programas ambientales sin quitar o distraer recursos en aquellos programas sociales que son prioritarios para la sociedad mexicana. Cabe mencionar, la propuesta anterior requiere de un estudio con

mayor profundidad en donde se analice los efectos que se podrían generar sobre las actividades que residen alrededor del tráfico de datos a través del internet, además incorporar un estudio sobre los beneficios y costos económicos mediante métodos empíricos que den sustento a la política de los impuestos ambientales.

Fotografía: ©Андрей Трубицын | AdobeStock



## Referencias

- Acemoglu, D. y J. Robinson. (2004). Institutions as the fundamental cause of long-run growth. *Working Paper 10481*, NBER.
- Acquatella, J. (2005). El papel conjunto de las autoridades fiscales y ambientales en la gestión ambiental de los países de América Latina y el Caribe. En Barcenás, A. y J. Acquatella (coords.). *Política fiscal y medio ambiente. Bases para una agenda común*, Naciones Unidas-CEPAL, Santiago de Chile, 25-64.
- Austin, D. (1999). Economic instruments for pollution control and prevention. A brief overview. *World Resources Institute*. Recuperado de <https://pdfs.semanticscholar.org/3802/0fc19aa75db3b24366ddf-2d8f16b7e8e46d3.pdf>. (último acceso 28 de mayo de 2019).
- Barcenás, A. y J. Acquatella. (2005). *Política fiscal y medio ambiente. Bases para una agenda común*. Naciones Unidas-CEPAL, Santiago de Chile.
- Bosquet, B. (2000). Environmental tax reform: does it work? A survey of the empirical evidence. *Ecological Economics*, 34, 19-32.
- Cremer, H., Gahvari, F. y Ladoux, N. (2010). Environmental tax design with endogenous earning abilities (with applications to France). *Journal of Environmental Economics and Management*, 59, 82-93.
- Coase, R. (1960). The problem of social cost. *The Journal of Law and Economics*, 3, 1-44.
- Galán, J. (2014). El enfoque de las reglas fiscales ante la discrecionalidad de la política pública. *Economía In-forma*, 388, 50-67.
- Galán, J. (2019). Impuestos Ambientales en México y Experiencias Internacionales. Cuaderno de Investigación. Instituto Belisario Domínguez, Senado de la República, México. Recuperado de <http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/handle/123456789/4693>.
- Galindo, L. M. y Caballero, K. (2011). La economía del cambio climático en México: algunas reflexiones”, *Gaceta de Economía*, 16, 85-113.
- García, A. (2017). *Impuestos ambientales: explicación, ejemplos y utilidad*, CIEP. Recuperado de [ciep.mx/FHZE](http://ciep.mx/FHZE), (último acceso 5 de junio 2019).
- Granados, M. R, Galán, J. y Leos, J. A. (2020). Volatilidad en los precios de los cereales básicos y su impacto en la seguridad alimentaria. México: 1995-2018. NOESIS. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 29(58).
- López, C. (2007). Environmental macroeconomics: from the IS? LM? EE model to a social welfare approach. *International Journal of Environment. Workplace and Employment*, 3(3), 301-315.
- López, T., Lara, F., Fuentes, F. y Veroz, R. (2006). La reforma fiscal ecológica en la Unión Europea: antecedentes, experiencias y propuestas. *Revista de Economía Institucional*, 8(15), 321-332.
- Nordhaus, W. D. (2007). A review of the Stern review on the economics of climate change. *Journal of Economic Literature*, 45(3), 686-702.
- Mendezcarlo, V., Medina, A. y Becerra, G. E. (2010). Las teorías de Pigou y Coase, base para la propuesta de gestión e innovación de un impuesto ambiental en México. *Tlatemoani* (2).
- OCDE. (2012a). *El sistema tributario, innovación y el medio ambiente*. OCDE-Foro Consultivo Científico y Tecnológico, México.
- OCDE. (2012b). *Perspectivas ambientales de la OCDE hacia el 2050. Consecuencias de la inacción*. Recuperado de <https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/49884278.pdf>. (Último acceso 10 de julio de 2019).
- Persson, M. (2019). The time has come for a global carbon emissions tax. *Project Syndicate*. Recuperado de <https://www.project-syndicate.org/commentary/united-nations-climate-change-global-carbon-tax-by-mats-persson-2019-05>. (Último acceso 15 de mayo de 2019).
- Ramsey, F. (1927). A contribution to the theory of taxation. *The Economic Journal*, 37(145), 47-61.
- Rigaud, K., De Sherbini, K., Jones B., Bergman, J., Clement, V., Ober, K., Schewe, S., Adamo, McCusker, B., Heuser, S. y Midgley, A. (2018). *Groundswell: preparing for internal climate migration*, World Bank, Washington D.C.
- Stern, N. (2008). The economics of climate change. *American Economic Review*, 98(2), 1-37.
- Stiglitz, J. (2000). *Economía del sector público*, 3ª Ed., Antoni Bosch Editor, Barcelona.
- Wending, Z., Emerson, J., Esty, D., Levy, M., y Sherbinin, A. (2018). *2018 Environmental performance index. Global metrics for the environment: ranking country performance on high-priority environmental issues*, New Haven, CT: Yale Center for Environmental Law & Policy. Recuperado de <https://epi.yale.edu/>. (Último acceso 23 de mayo de 2019).

# Cambio climático global ¿Hacia dónde vamos? ¿Qué necesitamos?

Fotografía: ©mbruxelle | AdobeStock

## Introducción

94

EN LA ACTUALIDAD, ES SENCILLO ENCONTRAR INFORMACIÓN sobre los impactos por eventos asociados a fenómenos climáticos, escenarios del clima futuro y los riesgos a los que se enfrentará la humanidad. Sin embargo, una persona que accede a esta información tiene que ser precavida con la fuente informativa para obtener datos correctos e interpretaciones adecuadas.

No obstante, la comunidad científica nacional e internacional, en su amplia mayoría coincide en que la existencia del cambio climático se encuentra fuera de toda duda, por lo que en esta contribución no se hace un compendio de datos sobre lo ya antes mencionado (impactos, escenarios y riesgos) sino que el propósito es romper con la distancia psicológica del lector con el problema.

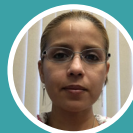
Para ello, es necesario que el lector ubique dos cosas: primero, un escenario donde el mundo en general y su lugar de residencia se encuentran 2 o 3 °C más caliente y; segundo, que en ese escenario coloque a una persona cercana y, posteriormente, a partir de esos dos elementos se pregunte: ¿esta persona cercana a mí podría vivir cómoda y confortablemente en ese mundo?, ¿qué herramientas



**José Clemente  
Rueda Abad**

Programa de investigación en  
Cambio Climático, UNAM.

[@clementerueda](#)



**Rocío del Carmen Vargas  
Castilleja**

Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller,  
Universidad Autónoma de Tamaulipas.

[rocvargas@docentes.uat.edu.mx](mailto:rocvargas@docentes.uat.edu.mx)



**Liliana López Morales**

Instituto de Ecología, UNAM, Posgrado en  
Ciencias de la Sostenibilidad.

[@LiLiLmorales](#)



debe tener o conocer para poder vivir en un mundo con un clima cambiante?

Esta contribución se divide en dos partes; la primera denominada ¿Hacia dónde vamos? En ésta se hace un breve bosquejo de lo que en la literatura científica se denomina como el Punto de No Retorno (PNR), que se refiere al momento en el que es demasiado tarde para actuar para mantenerse por debajo de lo prescrito (van Zalinge *et al.*, 2017, citado en Aengenheyster, Yi Feng, Van der Ploeg y Dijkstra, 2018), es decir, que el planeta llegue a una elevación de la temperatura de 2 °C o más y que ello implique que el riesgo a la seguridad humana se incremente. Y en un segundo momento, denominado ¿Qué necesitamos?, el lector podrá encontrar las respuestas de un grupo de expertos que fueron sometidos a responder las preguntas del ejercicio descrito en el párrafo anterior. La característica básica es que todos los integrantes de ese grupo, en este año 2020, tienen hijos que aún no cumplen 20 años de vida, lo cual significa que les tocará ver, vivir y experimentar la llegada del Punto de No Retorno cuando sean adultos.

Entre otras cosas, lo que se concluye es que nuestros sistemas institucionales actuales deben modificarse pensando en el futuro; adaptarse al cambio climático requiere no sólo de una forma de entender el mundo, sino que implica hacer uso de la prospectiva para facilitar que los habitantes de ese mundo futuro puedan contar con las herramientas mínimas necesarias para vivir en él.

## ¿Hacia dónde vamos?

En términos simples la humanidad va en camino a experimentar modificaciones sustantivas en sus formas de vida debido a los impactos asociados al cambio climático, de acuerdo con el Quinto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático de la ONU (IPCC, por sus siglas en inglés) habrá modificaciones en los fenómenos migratorios, la pobreza y las crisis económicas pueden generar un incremento en los conflictos violentos, los impactos en la infraestructura esencial pueden generar problemas a la seguridad nacional, inseguridad alimentaria y hambrunas, así como el incremento de la pobreza en zonas urbanas (IPCC, 2014: 20)

De acuerdo al IPCC y considerando los esfuerzos de mitigación, los escenarios de elevación de la

temperatura media global en la superficie en 2100 serían de 3.7 °C a 4.8 °C en comparación con los niveles preindustriales (IPCC, 2014:8). El hecho de que el planeta pueda llegar a alcanzar una temperatura media superior a los 2 °C, que es el umbral firmado y ratificado por casi todos los países del mundo a través del Acuerdo de París, no significa necesariamente el fin de la especie humana, sólo significa que se habrá llegado al Punto de No Retorno, el cual es un concepto que sugiere que a partir de ese momento los escenarios de riesgo para la humanidad habrán de incrementarse, de forma no lineal y no equitativa para todos los países del orbe y para la humanidad.

Es importante señalar que el Punto de No Retorno y su vinculación a los 2 °C, que se dio a través del Reporte Especial de la elevación de la temperatura (IPCC, 2019) sirvió para ubicar este momento entre el año 2040 y el 2060, ya que se estaría llegando al 1.5 °C y a los 2 °C en cada uno de los rangos de ese periodo de tiempo, lo cual se traduce a un llamado a la acción de todos los países del mundo para evitar que la temperatura se salga del umbral consensuado en el Acuerdo de París, para lo cual se deberán de implementar todo un conjunto de medidas que habrían de modificar los consumos culturales y energéticos de las sociedades actuales.

Desde nuestro punto de vista, la identificación del Punto de No Retorno sería una forma de modificar lo que se ha denominado como la paradoja de Giddens —que no es otra cosa que la inacción en el contexto climático; ya que, sabiendo tantas cosas que habrán de suceder con el sistema climático, no se hace nada por pensar que el 2100 está muy lejano (Giddens, 2010)—, en ese sentido, acercar el umbral de tiempo para el Punto de No Retorno ha logrado, en primera instancia, que algunos países firmen declaratorias de emergencia climática (que no es otra cosa que el compromiso por incrementar el número y tipo de acciones para evitar el escenario de falta de control y la posibilidad de experimentar un cambio climático abrupto) y, por otro lado, ha sido el argumento para que muchos jóvenes en el mundo se movilicen en las calles de manera simultánea en muchos países demandando a sus gobiernos mayores niveles de compromiso climático.

El planeta se sigue calentando y los procesos de retroalimentación negativa dentro del sistema climático podrían hacer que los rangos establecidos para el Punto de No Retorno sean solo referenciales,

sobre todo si la región de polo Norte continua experimentando olas de calor como las acaecidas durante la primavera y verano de 2020, donde las olas de calor registradas en Siberia y el descongelamiento de Groenlandia, no sólo podrían incrementar el nivel medio del mar sino que implica la liberación de gas metano —que tiene un potencial de calentamiento global más elevado que el  $\text{CO}_2$ — y con ello generarse realidades que no han sido colocadas en los resultados de la modelación climática.

## ¿Qué necesitamos?

Buena parte del debate público se centra en la idea de que el cambio climático implica un colapso civilizatorio y donde no se encuentran muchas posibilidades de un proceso de metamorfosis que modifique radicalmente los consumos culturales actuales por otros que sean consecuentes con una realidad climáticamente diferente (Beck, 2016).

Fotografía: ©freshidea | AdobeStock



Pensando en las nuevas generaciones y su proceso de adaptación, se requiere educarlos y capacitarlos para un futuro que, como promesa, no parece muy halagüeño. Es decir, esos miles de jóvenes que han salido a manifestarse a las calles del mundo motivan a una reflexión mínima: ¿Qué hemos de enseñarle a ese niño o niña que le ayude a sobrevivir y prosperar en el mundo de 2050 o del siglo *xxii*?» (Harari; 2018: 285)

Debemos considerar que vivimos en un mundo con un clima cambiante, lo que modifica la forma en que vivimos y como nos relacionamos con otros seres con los que compartimos la Tierra ahora y en el futuro, por lo tanto, hay que prepararnos y comenzar a preparar a las futuras generaciones con conocimientos, valores, actitudes, habilidades, etcétera, que les ayuden a vivir en un planeta que vive constantes transformaciones. Así que, los sistemas educativos formales como informales deben dotar a las futuras generaciones de habilidades para el siglo *xxi*, las cuales van más allá de los aprendizajes curriculares convencionales y que «son esenciales para sobrevivir, progresar y aportar a la sociedad» (Waissbluth:2018:58).

Algunas de las habilidades para el siglo *xxi* que requieren contemplarse en la educación que reciben hoy las personas son: perseverancia, resiliencia y determinación frente a los desafíos complejos; metacognición entendida como el «aprender a aprender», sobre todo en un mundo cambiante; colaboración, liderazgo, trabajo en equipo en proyectos interdisciplinarios con personas muy diferentes; pensamiento sistémico; enfoque del bien común y la preservación del medio ambiente, entre muchas otras (Waissbluth:2018:58-59).

Desde la teoría o la epistemología debe entenderse que educar para el futuro es más complejo pues implica, entre otras cosas. «poseer prospectiva, es decir, una visión clara del mundo venidero para dotar, a la generación subsecuente, de las herramientas que les permitan afrontar dicha *nueva situación*» (Tamayo, 2017a:116) en este caso, la parte prospectiva se conoce a través de los reportes periódicos del IPCC y ante ello es válido interrogarse, sobre si dichos escenarios serán suficientes o quedarán rebasados por la realidad.

Hoy en día hay evidencia sobre la necesidad de transformar los sistemas educativos con el objetivo de implementar una modificación de los currículos escolares y dejar de reproducir la educación ban-

caria (Freire: 2005) y acabar con la locura ecocida (Tamayo; 2017b).

Desde otra perspectiva, la parte educativa, la capacitación para las nuevas generaciones, puede sustentarse en el marco de la adaptación social, porque «para enfrentar cualquier situación que nos pone en peligro, primero debemos conocerla, saber por qué pasa y de qué manera podemos adaptarnos para reducir el riesgo ante un desastre» (López, 2019: 178) por lo que la educación para el cambio climático debe implementarse utilizando principios éticos, a saber: prevención de los daños, criterio de precaución, equidad y justicia, desarrollo sostenible y solidaridad (UNESCO; 2017: 163-164).

Dejando de lado la cuestión teórica, y para romper la distancia psicológica (Urbina, 2017) se requiere que uno mismo sea capaz de ubicarse y verse en un escenario climático, sin embargo, esta situación puede ser más entendible si uno es capaz de poner a un tercero en dicho escenario. Pensemos por un momento ¿qué tipo de habilidades deben fomentarse a nuestros hijos, considerando un mundo con 2 o 3 °C más de elevación de temperatura media global y en el que ellos serán adultos?

Esta interrogante, a través de una entrevista semiestructurada, se ha planteado a un grupo de académicos que llevan años trabajando en el problema del cambio climático. El sólo hecho de formularles la pregunta implica sacarlos de su zona de confort académica y ello les hace ubicarse como parte del problema. En consecuencia, implica que el académico visualice a su propio descendiente como un sujeto dentro del objeto de investigación sobre el que normalmente teorizan y en el que la objetividad científica normalmente impide las reflexiones de este tipo.

Johannes Dieleman, académico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, señala que «No sabemos cómo va a ser, ese mundo y por lo tanto no podemos prepararles para algo concreto. Tenemos que prepararles...para la adaptación a algo nuevo y constantemente en transformación. Las capacidades deben ser más del tipo de aprender a co-construir en equipos, imaginar y, realizar lo imaginado: capacidad de trabajar en equipos, de disciplinarse, trabajar paso a paso en la construcción de sus propias condiciones de (sobre) vivir. (Dieleman, 2020)

Para Efren Ospina, investigador de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de

Colombia sede Bogotá, los jóvenes «deben desarrollar habilidades que vayan en consecución del uso eficiente de los recursos naturales con desarrollo de tecnología, investigación, metodologías, herramientas, etcétera, que les permitan ver el ambiente y los ecosistemas de forma integral donde estamos inmersos» (Ospina, 2020).

Para Gabriel Castañeda, profesor investigador de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas considera que «se les debe enseñar habilidades enfocadas a la producción de alimentos, gestión de los recursos disponibles, captación y gestión del agua, materiales y sistemas constructivos adaptables a esas variaciones, innovación y desarrollo hacia la producción y comercialización de bienes y servicios. (Castañeda, 2020)

Para la socióloga del Colegio de Posgraduados, campus Montecillo, Verónica Vázquez se requiere capacitarlos en lograr una «apertura mental, tolerancia, aguante, capacidad de adaptarse a distintas circunstancias, mente crítica y racional que pueda buscar soluciones en circunstancias adversas. Aprender a vivir con poco, reciclar, comer natural, disfrutar actividades al aire libre. (Vázquez, 2020)

Para el exobiólogo de la UNAM, Sandro Cervantes además de que deberían ser autodidactas se requerirá que tengan «habilidades de supervivencia ante escasez de agua o comida; desarrollo de ecotecnologías sencillas; estrategias de comunicación y desarrollo de comunidades autosuficientes; economía básica. (Cervantes, S., 2020)

De acuerdo con Esmeralda Cervantes Rendón, investigadora de El Colegio de Chihuahua, sede Ciudad Juárez, «una de las principales habilidades que serán importantes es enfrentar retos por la falta de recursos naturales y económicos... Por otro lado, [requieren] habilidades para el manejo de contingencias ambientales y climáticas, atención de lesionados, primeros auxilios, cultivo en casa y el funcionamiento de todos los equipos, electrodomésticos y fuentes de energía en el hogar» (Cervantes, E., 2020).

Lo que se observa en las opiniones de estos académicos es una preocupación constante porque los jóvenes que están en proceso de formación en este momento aprendan a hacer cosas con sus propias manos, conocimientos que les permitan apropiarse de la tecnología y ser conscientes del riesgo en el que les tocara vivir, las cuales pueden entrar dentro de las Habilidades para el siglo XXI que previamente

mencionamos. Este tipo de procesos educativos deberían ser impulsados desde ya porque el Punto de No Retorno está a la vuelta de la esquina.

¿Qué se requiere hacer? Ante un reto tan complejo como la crisis climática se requiere modificar aspectos fundamentales como los sistemas y estructuras, las relaciones sociopolíticas y económicas, también están las creencias, visiones del mundo, conocimientos, prácticas y comportamientos que contribuyen al cambio climático y la vulnerabilidad social (Denton *et al.*: 2014 citado en Schipper, Eriksen, Fernandez, Glavovic, & Shawoo: 2020).

Ante esto último, sería ideal un análisis del sistema educativo nacional y la política educativa y climática para insertar desde la educación básica un proceso de conocimientos que permitan que los niños y jóvenes de ahora adquieran las herramientas que les permitan vivir y sobrevivir en un mundo climáticamente distinto, al que muchos de nosotros habremos de llegar siendo más viejos, pero paradójicamente inexpertos para un clima diferente al que hemos vivido.

## Conclusiones

El Punto de No Retorno hasta este momento ha sido un catalizador para demandar acciones climáticas contundentes por parte de los gobiernos que modifiquen la paradoja de Giddens, sin embargo, la existencia de este concepto y sus acciones derivadas tampoco son una garantía que evite que ese umbral de tiempo se cumpla, sobre todo porque los escenarios climáticos que existen en la actualidad señalan que no se podrá cumplir con los límites de elevación de la temperatura pactados en el Acuerdo de París.

Si bien es cierto, se requieren modificaciones institucionales y políticas en México y en todo el mundo para lograr que las sociedades políticas logren adaptarse al cambio climático global, éstas deben hacerse usando escenarios prospectivos, para con ello facilitar que los habitantes de ese mundo futuro puedan contar con las herramientas mínimas necesarias para vivir en él.

Más allá de las habilidades que requieren obtener los jóvenes que ahora están en procesos educativos y formativos, hay que tener claro que los escenarios climáticos conocidos al momento pueden haber subestimado los procesos de retroalimentación ne-

gativa que harían que el Punto de No Retorno llegue mucho antes de lo que ha sido anunciado por el IPCC en el año 2018. En otras palabras, la humanidad se encuentra en una carrera contra reloj por ello se necesita que los cambios que ha solicitado el IPCC comiencen a implementarse de manera inmediata porque el tiempo se está acabando.

## Fuentes de consulta

- Aengenheyster, M., Yi Feng, Q., Van der Ploeg, F. y Dijkstra, H. (2018). *Earth System Dynamics*, 9(3), 1085–1095.
- Beck, U. (2016). *La metamorfosis del mundo*. Barcelona, Paidós.
- Castañeda, G. (2020). Re: necesito su apoyo contestando un breve cuestionario, [correo electrónico], 24 mar. 2020 22:12hrs.
- Cervantes, E. (2020). Re: necesito su apoyo contestando un breve cuestionario, [correo electrónico], 27 marzo de 2020 11:20.
- Cervantes, S. (2020). Re: necesito su apoyo contestando un breve cuestionario, [correo electrónico] 24 marzo. 2020 16:30 horas.
- Dieleman, H. (2020). Re: necesito su apoyo contestando un breve cuestionario, [correo electrónico] 26 marzo de 2020 11:54.
- Freire, Paulo. (2005). *Pedagogía del oprimido*, México, Siglo XXI.
- Giddens, Anthony. (2010). *La política del cambio climático*. Madrid: Alianza editorial.
- Harari, Y. (2018). *21 Lecciones para el siglo XXI*, México. Penguin Random House Grupo Editorial, Col. Debate, p. 399.
- IPCC. (2014). *Climate change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III*, Ginebra, Suiza, IPCC, 151p.
- IPCC. (2019). *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*, IPCC, Ginebra.
- López Morales, Liliana. (2019). «La educación climática como una medida de adaptación al cambio climático» en Ibarra Sarlat, Rosalía (Coord.). *Cambio climático y gobernanza. Una visión transdisciplinaria*, UNAM/Instituto de Investigaciones Jurídicas, México, pp.175-196.
- Ospina, J. (2020). Re: necesito su apoyo contestando un breve cuestionario, [correo electrónico] 25 mar. 2020 08:39 horas.
- Schipper, E., Eriksen, S., Fernandez, L., Glavovic, B., & Shawoo, Z. (2020). Turbulent transformation: abrupt societal disruption and climate resilient development. *Climate and Development*, DOI: 10.1080/17565529.2020.1799738.
- Tamayo Pérez, Luis. (2017a). *Aprender a decrecer 2.0 Educando para la sustentabilidad poco antes del inicio de la debacle socioambiental*, Cuernavaca, Morelos, México, El Colegio de Morelos/ Universidad La Salle Cuernavaca, 194 pp.
- Tamayo Pérez, Luis. (2017b). *La locura ecocida. Ecosofía psicoanalítica*, México, Fontamara, Colección Argumentos, 165 pp.
- UNESCO. (2017) *Actas de la Conferencia General 39ª reunión París, 30 de octubre - 14 de noviembre de 2017, Volumen 1 Resoluciones, Anexo III Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático*, París, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 188p., pp. 161-167. Recuperado de [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260889\\_sppa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260889_sppa).
- Urbina, J. (2017). *La percepción social del cambio climático: insumo fundamental para la gobernanza climática*. En Rueda, J., Gay, C. y Ortiz B. (Coords). *La gobernanza climática en México: aportes para la consolidación estructural de la participación ciudadana en la política climática nacional, Volumen II: Retos y oportunidades*, pp.331-356, México: UNAM-PINCC. Recuperado de <http://www.pincc.unam.mx/slider/pdf/vol2.pdf>.
- Vázquez, V. (2020). Re: necesito su apoyo contestando un breve cuestionario, [correo electrónico] 19 mar. 2020 18:59.
- Waissbluth, M. (2018). *Educación para el siglo XXI. El desafío Latinoamericano*. Santiago de Chile: FCE.

# Recomendaciones bibliográficas

## El afán sin límite: Cómo hemos llegado al cambio climático y qué hacer a partir de ahí.

**Autora:** Hope Jahren

**Año:** 2020

**Número de páginas:** 224

**País de publicación:** España

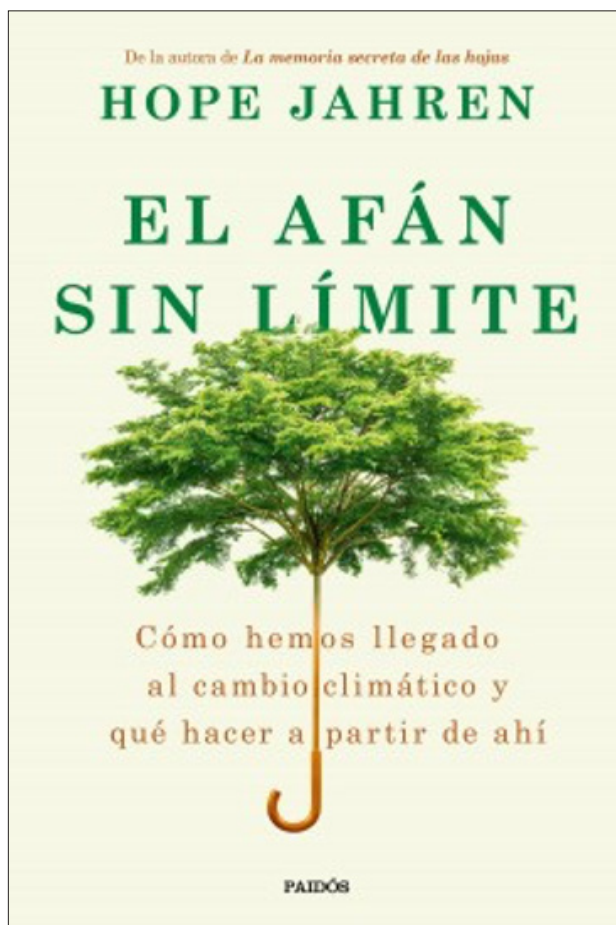
**Editorial:** Paidós

**ISBN:** 9788449337420

Este libro nos habla de los orígenes del cambio climático en nuestro planeta y la contribución humana a esta causa. Desde el punto de vista científico de la geofísica y la biología, hace un recorrido por grandes inventos que benefician a la humanidad, pero que también la perjudican, principalmente por los efectos de la gran cantidad de gases que liberan. Tal es el caso de la generación de electricidad, la fabricación en cadena de automóviles y la ganadería a gran escala.

También propone acciones de lucha que, sin ser estas inmediatas, ni definitivas, contribuirían a solucionar el problema. Acciones que tienen que generarse a partir de una introspección por parte de las personas, la cual incluya un cuestionamiento sobre la manera en que nuestras propias acciones se han convertido en el elemento principal de destrucción del planeta.

Hope Jahren es una geóloga estadounidense, designada por la revista *Time* como una de las 100 personas más influyentes del mundo. Ha recibido tres premios Fullbright en geobiología y es, además, la única mujer galardonada con la *Medalla para Jóvenes Investigadores en Ciencias de la Tierra*.



## El Green New Deal global

**Autor:** Jeremy Rifkin

**Año:** 2019

**Número de páginas:** 336

**Editorial:** Paidós

**País de publicación:** España

**ISBN:** 9788449336270

En este libro se estudia el impacto económico, ambiental, social y cultural de las nuevas tecnologías de energías verdes en la economía mundial. Habla de un plan, como el *New Deal* de Roosevelt, el cual posibilite una modernización en la infraestructura desde una red de energía y producción eléctrica para descarbonizar la sociedad, proponiendo la energía renovable y las redes inteligentes para reducir las emisiones de carbono que provocan el calentamiento global.

Defiende la idea de que en 2028 habría una explosión de lo que denomina la burbuja de activos de combustibles fósiles, dejándolos varados en los lugares cuyos gobiernos ignoren el nuevo mercado. La propuesta que da no solo va en sentido económico o tecnológico, sino también de cambios sociales, sobre todo en cuanto a la participación de las personas en los procesos decisorios, dado el gran esfuerzo colectivo que se requiere.

Jeremy Rifkin es un sociólogo, economista y divulgador estadounidense identificado por su clara posición a favor de modelos sostenibles en lugar del uso de petróleo y otros combustibles fósiles. Es creador de la teoría de la *Tercera Revolución Industrial* basada en las tecnologías de la información y la energía.



**¿Cuánto calor es 1 grado más?  
¿Qué pasa con el cambio climático?**

**Autor:** Kristina Schamacher-Schreiber, e ilustraciones de Stephanie Marian.

**Año:** 2020

**Número de páginas:** 96

**País de publicación:** España

**Editorial:** Lóguez

**ISBN:** 9788412052183

Este es un libro educativo que trata de crear conciencia acerca de temas relacionados con el cambio climático: desde las estaciones del año y las zonas climáticas hasta el efecto invernadero, el deshielo de los polos y el nivel de los mares. Muestra también cómo las acciones humanas inciden en el clima y cómo se puede proteger a la tierra.

Esta publicación sostiene que la generación más joven tiene la oportunidad de aprender, desde el principio, a conducirse de manera más sostenible y de hacer un ajuste en su forma de vivir, siendo más respetuosos con el clima.

Se centra en dar razones que llevan a comprender la importancia de ese grado de diferencia que refiere su título y contiene numerosas ilustraciones a color que complementan los textos breves, pero basados en la ciencia.

Dada su contribución a la promoción de la paz mundial, esta publicación recibió el *Premio de la Paz Gustav Heinemann*, de gran trascendencia entre la literatura infantil y juvenil a nivel europeo.







**NUEVA ÉPOCA**

**AÑO 10**

**NÚMERO 46**

**OCTUBRE-DICIEMBRE 2020**