
**PERSPECTIVAS Y RETOS
DE LOS ESTUDIOS SOBRE
EL CAMBIO CLIMÁTICO
DENTRO DEL PENSAMIENTO ACTUAL**

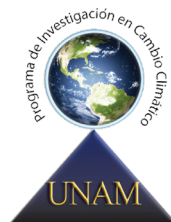
RUBÉN DARÍO MARTÍNEZ RAMÍREZ
FABIO ARTURO LÓPEZ ALFARO
COORDINADORES



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO
RED UNIVERSITARIA DE CAMBIO CLIMÁTICO

PERSPECTIVAS Y RETOS DE LOS ESTUDIOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO DENTRO DEL PENSAMIENTO ACTUAL

RUBÉN DARÍO MARTÍNEZ RAMÍREZ
FABIO ARTURO LÓPEZ ALFARO
COORDINADORES



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO
RED UNIVERSITARIA DE CAMBIO CLIMÁTICO

MÉXICO 2021

ISBN DE LA OBRA: 978-607-30-5490-4

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO
RED UNIVERSITARIA DE CAMBIO CLIMÁTICO**

Coordinación:

Rubén Darío Martínez Ramírez

Fabio Arturo López Alfaro

Diseño editorial y portada:

Uziel Soriano Flores

D.R. © 2021 Programa de Investigación en Cambio Climático y Red Universitaria de Cambio Climático de la Universidad Nacional Autónoma de México

Primera Edición

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

Publicación realizada en formato digital para ser distribuida en el sitio de internet:

www.pincc.unam.mx

Formato electrónico: PDF

Tamaño del documento: 11.2 MB

Índice

Introducción

Rubén Darío Martínez Ramírez
y Fabio Arturo López Alfaro

5

Agradecimientos

10

Degradación de la selva seca y cambio climático: analizando la percepción local usando redes complejas

Noemí García-Ponce,
Julieta A. Rosell y
Alfonso Langle-Flores

11

Propuesta de investigación para el diseño de estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático: el caso de la región del volcán Iztaccíhuatl, México

Valeria Rosales Plata

33

Transición energética: Clave para abatir el cambio climático y promover el desarrollo. El caso de México

Azucena Libertad García Cisneros

49

Consideraciones éticas para la investigación y la toma de decisiones frente al cambio climático

Sarai Zavala Galván

63

El reduccionismo científico y su influencia en las políticas internacionales sobre el cambio climático antropogénico

Heber Vázquez Jiménez

81

Fuentes y tipos de la incertidumbre climática, una perspectiva filosófica

Roberto Lorenzo González

101

Sobre quienes coordinan este libro y las personas que escriben en el mismo

116

Introducción

RUBÉN DARÍO MARTÍNEZ RAMÍREZ¹ Y FABIO ARTURO LÓPEZ ALFARO²

La Red Universitaria de Cambio Climático (REDUCC) nació con la misión de construir una red multidisciplinaria de jóvenes donde se aprenda y dialogue sobre el fundamento, causas y consecuencias del cambio climático para que se transformen en agentes de cambio que integren acciones en su comunidad. Una de sus constantes ha sido la cercanía con la academia pues creemos en la necesidad imperante de atender los llamados de la ciencia para lograr buena gobernanza ambiental y políticas públicas efectivas en pos del bienestar humano global.

Si bien es siempre enriquecedor leer la producción de personas de la academia con gran trayectoria, hay que visibilizar también los esfuerzos de aquellos estudiantes de diversos grados académicos y áreas de formación quienes hoy en día inician su labor profesional. Mañana, se convertirán en partícipes de la comunidad investigadora y decisores del futuro. Este libro se creó con el propósito de brindarles a las y los jóvenes partícipes un espacio para que compartan trabajos propios y originales.

Gran parte del renovado interés en la ciencia climática responde, por un lado, a la aceleración en la presencia y persistencia de eventos meteorológicos extremos producidos por la variación del clima, cuyos impactos serán vividos principalmente por las generaciones jóvenes y futuras, las cuales, sensibilizadas por la urgencia de actuar han coadyuvado en frecuentes movilizaciones sociales y juveniles por el clima en favor de la justicia intergeneracional. Su activismo ambiental busca el reconocimiento de un estado de emergencia climática para alinear la agenda pública y privada con la búsqueda de un futuro deseable y prometedor donde el clima y el ambiente sean prioridades de la gobernanza global.

La meta a lograr es clara: Las naciones deben cooperar para mantener por debajo de los 2 °C el aumento de la temperatura global, e incluso, más ambiciosamente, buscar limitar el aumento por debajo de los 1.5 °C sobre los niveles preindustriales. Esta meta fue plasmada en el Acuerdo de París —actualmente el esfuerzo más ambicioso para combatir la amenaza de la crisis climática—, el cual fue presentado en la vigésimo primera Conferencia de las Partes (COP21) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés). Estas metas son sumamente importantes pues si bien el cambio climático es irreversible, esta

1 Licenciado en Ciencias de la Comunicación, UAM. Egresado de la licenciatura en Filosofía, UNAM. Colaborador del Programa de Investigación en Cambio Climático y de la Red Universitaria de Cambio Climático de la UNAM. Contacto: rudymraz@gmail.com, rudymraz@pincc.unam.mx

2 Egresado de la licenciatura en Ciencias de la Tierra, UNAM. Colaborador de la Red Universitaria de Cambio Climático de la UNAM. Contacto: fabio.alfaro@pincc.unam.mx, fa.lopezalfaro@gmail.com

representa la ventana de oportunidad para enfrentar los menores riesgos y evitar los peores efectos del cambio climático.

La urgencia de actuar es palpable pues la tendencia de calentamiento global que se ha registrado desde la década de 1980 (IPCC, 2021) se ha traducido en que se bata casi cada año el récord de temperatura, se continúe la tendencia en incremento de la temperatura global y se acerque una catástrofe climática y social como la humanidad jamás ha enfrentado. Incluso con fenómenos climáticos como La Niña —el cual tiene un efecto enfriador en el planeta (Philander, 1985)—, el 2020 empató con el 2016 como el año más caluroso registrado (NASA, 14 de enero de 2021); se alcanzó 1.02 °C por arriba de los niveles preindustriales, dejándonos a unas décimas de grado de alcanzar la meta más ambiciosa del Acuerdo de París. De continuar así, se llegará a los 1.5 °C en el corto plazo (2021-2040). La urgencia de actuar es apremiante si de verdad se desean cumplir las metas de París, pero para lograrlas, son necesarias reducciones significativas de CO₂ y de otros contaminantes climáticos en las próximas décadas (Lee *et al.*, 2021).

Coordinar esfuerzos globalmente para alcanzar los requerimientos de reducciones y adaptación ante el cambio climático que permitan a la humanidad persistir es un gran reto. Para lograrlo, las principales herramientas son las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés), las cuales dan seguimiento al avance y cumplimiento de los compromisos, y reflejan los esfuerzos de cada país para reducir sus emisiones y adaptarse a los impactos del cambio climático. Estas deben actualizarse cada cinco años aumentando con cada iteración la ambición de sus medidas para que así, ultimadamente, se alcance el máximo de emisiones mundiales y se proceda a una rápida reducción de los gases de efecto invernadero (Acuerdo de París, 2015, Artículos 4.1, 4.3, 4.9 y 4.11). Este objetivo es importante pues la ambición actual no alcanza para llegar a la meta. Incluso, si los países siguieran las NDCs presentadas en la COP21, el calentamiento del planeta llegaría a los 2.7 °C para finales de siglo (Climate Action Tracker, 2020).

Lograr estas metas solamente será factible si se atiende la mejor información científica disponible. Desde 1988 es el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) el encargado de evaluar integralmente el estado del conocimiento científico, técnico y socioeconómico sobre el cambio climático, partiendo desde sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. Hoy en día se encuentra en su sexto ciclo de evaluación, el cual concluirá en 2022 con la revisión más exhaustiva hasta la fecha. Este proceso y sus contribuciones suceden en un álgido momento en el que la humanidad continúa enfrentándose a la pandemia del COVID-19 la cual ya obligó en 2020 a posponer para 2021 la COP26 de Glasgow. Las discusiones para posponer nuevamente “la COP más inclusiva” continúan por las dificultades de asegurar un ambiente sano, seguro e inclusivo para las personas participantes, especialmente aquellas delegaciones de países vulnerables, sociedad civil y grupos minoritarios quienes encuentran trabas para atender a negociar (Mathiesen, 7 de septiembre de 2021; Farand, 7 de septiembre de 2021). La emergencia climática es tangible y posponer aún más las negociaciones dificultará lograr nuestros objetivos.

Si bien es cierto que el trabajo del IPCC es exhaustivo, también presenta barreras de accesibilidad debido que la mayoría del contenido se encuentra en inglés³, y a pesar de la política de redactarlo en un estilo no técnico adecuado para los responsables de la formulación de políticas, continúa siendo poco accesible. Además, cuando se abordan estos reportes, resalta la dificultad de identificar los resultados locales o regionales, especialmente en los sitios donde existe mayor incertidumbre en los resultados debido a la falta de resolución de la información. Reconocemos la trascendental labor del IPCC en brindar un análisis exhaustivo de utilidad y relevancia para la sociedad. En tal sentido, consideramos de suma relevancia continuar promoviendo espacios para compartir investigación que amplíe los conocimientos locales.

Los impactos producidos por el cambio climático son cada vez más evidentes, lo que ha generado un sinfín de perspectivas y discusiones periféricas desde las ciencias naturales, políticas y sociales, así como desde las artes y humanidades. Por eso, nos es significativo brindar conocimiento pleno que refleje el conocimiento local sobre las discusiones y propuestas de soluciones que continúan en su auge. Para ello, el papel de la academia es clave pues es ahí donde se gestan interesantes contribuciones al diálogo climático global.

La REDUCC comparte la perspectiva de que es a través del conocimiento científico y humanístico que se pueden generar buenas políticas y prácticas informadas que resulten benéficas para la comunidad mundial. En ese sentido, y reconociendo el potencial de brindar espacios a las y los investigadores del futuro, nos es vital el abrir espacios para que estudiantes de todo grado académico y áreas de formación compartan el fruto de su trabajo. Este libro presenta algunos trabajos expuestos y discutidos durante el *Primer Coloquio Estudiantil sobre Investigación en Cambio Climático* el cual tuvo lugar a finales del 2019. Con la publicación de esta obra se busca incentivar e impulsar la formación académica entre la comunidad estudiantil en temas de cambio climático. Los textos que aquí se presentan han sido desarrollados por estudiantes de licenciatura y posgrado de diversas áreas de estudio. Estos se encuentran organizados de la siguiente manera.

Noemí García, Julieta Rosell y Alfonso Langle presentan un estudio sobre la percepción ambiental que tiene un grupo de personas del municipio costero de La Huerta, Jalisco respecto a la degradación de la selva baja caducifolia y el vínculo que ellas hacen acerca del cambio climático. Estas investigaciones son de importancia ya que permiten conocer si las personas reconocen como amenazas algunos problemas ambientales, y así generar estrategias que integren la percepción de las comunidades y los eventos ambientales que se les presentan.

Asimismo, dentro de los impactos que se ven reflejados en la Tierra por el cambio climático se encuentra el derretimiento de glaciares, mismos que se presentan en los pocos que quedan en México. **Valeria Rosales** desarrolla una propuesta de investigación y estrategia de forestación con especies endémicas para el área del volcán Iztaccíhuatl para así lograr una mejor redistribución y cobertura de la zona vegetal.

Siguiendo con el sector energético, además de ser uno de los que más contribuyen en la emisión de gases de efecto invernadero, se encuentra en estrecha relación con los ingresos económicos de los países. Una transición

³ Por ejemplo, el Resumen para Tomadores de Decisiones (Summary for Policymakers) del Quinto Reporte de Evaluación fue traducido a los idiomas oficiales de la ONU y a algunos otros más (*i.e.* Catalán, Alemán, Húngaro y Coreano). Véase: <https://archive.ipcc.ch/report/ar5/syr/>

energética es cada vez más necesaria, por lo que **Azucena García** propone considerar las estrategias del Trilema Energético para lograr esto y que las poblaciones tengan un mayor acceso a la energía con menores repercusiones ambientales (principalmente en cuanto a emisiones). De igual manera, evalúa el caso de México contemplando las políticas que se han implementado en los dos últimos sexenios (del 2012 en adelante) y la infraestructura energética que tiene el país.

Ante los esfuerzos y crecimiento del estudio del cambio climático así como de la participación cada vez mayor de distintos actores al respecto del tema, los consensos sobre cómo actuar se han vuelto complejos de alcanzar. En ese sentido, **Sarai Zavala** realiza una revisión sobre los postulados éticos que fueron establecidos en la Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático por la UNESCO. Proponiendo una ética que en un primer momento ayude a resolver problemáticas a corto plazo, como considerar el desarrollo sustentable, y posteriormente transitar hacia un cambio de valores que consolide la relación entre ser humano y naturaleza; además de que esta perspectiva integre la sensibilización y educación del cambio climático.

La política climática internacional se ha constituido en relación al conocimiento científico, principalmente sobre la física del clima. En su artículo, **Heber Vázquez** cuestiona y evidencia el reduccionismo científico al que ha estado sujeta la política internacional y que ha dejado a un lado aspectos sociales, económicos, biológicos, entre otros. El autor considera indispensable la interacción entre las distintas disciplinas y que estas puedan ser discutidas en los ámbitos políticos internacionales. Sin olvidar, tampoco, la necesidad de involucrar la comunicación y percepción del cambio climático fuera de los debates académicos.

Por último, **Roberto Lorenzo González** ofrece una discusión sobre las incertidumbres inherentes de los estudios climáticos. El autor argumenta sobre las limitaciones existentes en la investigación climática y de la importancia de continuar desarrollando tipologías que permitan dar sentido a la incertidumbre, promoviendo a la filosofía de la ciencia como herramienta para lograr dicho cometido.

Nos complace haber generado un espacio que responda a la necesidad de visibilizar los esfuerzos y trabajos de investigación de prometedores colegas. Esperamos que este libro sea uno de muchos logros para continuar compartiendo conocimientos y expandir el diálogo en torno a la ciencia climática y todas sus tangentes.

Referencias

- Acuerdo de París. Artículos 4.1, 4.3, 4.9 y 4.11. 12 de diciembre de 2015. https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf
- Climate Action Tracker (2020). *Warming Projections Global Update*. https://climateactiontracker.org/documents/790/CAT_2020-09-23_Briefing_GlobalUpdate_Sept2020.pdf
- Farand, C. (7 de septiembre de 2021). UK rejects campaigners' call to postpone Cop26 climate talks again. *Climate Home News*. <https://www.climatechangenews.com/2021/09/07/uk-rejects-campaigners-call-postpone-cop26-climate-talks/>
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. En Masson-Delmotte, V., Zhai, P.,

Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. y Zhou B. (Eds.). Cambridge University Press.

Lee, J. Y., Marotzke, J., Bala, G., Cao, L., Corti, S., Dunne, J. P., Engelbrecht, F., Fischer, E., Fyfe, J. C., Jones, C., Maycock, A., Mutemi, J., Ndiaye, O., Panickal, S. y Zhou, T. (2021). Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. En Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M. I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J. B. R., Maycock, T. K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R. y Zhou B. (Eds.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Mathiesen, K. (7 de septiembre de 2021). Green groups call to postpone COP26 over unequal access. *POLITICO*. <https://www.politico.eu/article/cop26-climate-change-green-groups-postpone-unequal-access/>

NASA (14 de enero de 2021). 2020 Tied for Warmest Year on Record, NASA Analysis Shows. *NASA: Climate Change and Global Warming*. <https://climate.nasa.gov/news/3061/2020-tied-for-warmest-year-on-record-nasa-analysis-shows/>

Philander, S. G. H. (1985). El Niño and La Niña, *Journal of Atmospheric Sciences*, 42(23), 2652-2662. https://journals.ametsoc.org/view/journals/atsc/42/23/1520-0469_1985_042_2652_enaln_2_0_co_2.xml

Agradecimientos

Ante la necesidad de crear un espacio de diálogo entre estudiantes con intereses en la investigación del cambio climático dentro de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) a inicios del 2019 desde la coordinación de la REDUCC se planeó y gestionó el proyecto para crear el primer Coloquio estudiantil sobre investigación en cambio climático. Mismo que hasta la fecha, 2021, se celebrará su tercera edición en colaboración con otras instituciones y organizaciones estudiantiles dentro y fuera de la UNAM.

En ese sentido, quisiéramos agradecer al Dr. José Clemente Rueda Abad por acoger con gusto y motivación que se abriera este espacio para el diálogo entre la comunidad estudiantil del país en la UNAM. Además que por iniciativa de él se propuso seleccionar las presentaciones más representativas que se hayan abordado en el coloquio para realizar una publicación académica con estos resultados. Sin duda, también extendemos nuestros agradecimientos al Dr. Carlos Gay García, quien durante el desarrollo de este coloquio fungía como coordinador del Programa de Investigación en Cambio Climático (PINCC) de la UNAM, y que desde la creación de la REDUCC ha respaldado las actividades que se han hecho teniendo en cuenta la necesidad de involucrar a las juventudes en los diversos temas relacionados al cambio climático. Con el mismo mérito agradecemos al actual coordinador del PINCC, el Dr. Francisco Estrada Porrúa, que ha dado el mismo respaldo institucional y personal a los proyectos que se siguen desarrollando en la REDUCC. De esta manera, agradecemos al PINCC de la UNAM, por brindarnos la oportunidad de liderar esta publicación. Deseamos que esta sea la primera de muchas más publicaciones del brazo juvenil del programa.

Finalmente, reconocemos el apoyo brindado por las distintas personas de la comunidad académica de diversas universidades, públicas y privadas, de alrededor del país que de manera gentil participaron en el comité dictaminador que evaluó y revisó todas las aportaciones contempladas en esta publicación. Con certeza, los comentarios realizados sobre el contenido, la importancia temática, así como el alcance y relevancia de los textos son de gran relevancia para garantizar la formalidad y precisión científica del contenido de este libro.

Degradación de la selva seca y cambio climático: analizando la percepción local usando redes complejas⁴

NOEMÍ GARCÍA-PONCE⁵, JULIETA A. ROSELL⁶ Y ALFONSO LANGLE-FLORES⁷

Resumen

La degradación forestal es una de las principales causas del incremento de CO₂ atmosférico y, en consecuencia, del cambio climático. El análisis de las percepciones ambientales sobre degradación forestal ofrece información crucial sobre el proceso de toma de decisiones por parte de actores locales, permitiendo orientar intervenciones para el manejo de los socioecosistemas. Para examinar la percepción sobre la degradación de la selva seca, uno de los ecosistemas más emblemáticos del país y con mayor número de habitantes, se seleccionó una localidad de la costa del Pacífico. Se obtuvieron 28 mapas cognitivos de actores heterogéneos en cuanto a edad, actividad económica y tiempo de residencia en la localidad. Estos mapas reflejaron las percepciones de los actores locales sobre degradación forestal y fueron analizados con métricas de redes. Los resultados mostraron que la percepción de la degradación forestal está asociada principalmente a causas naturales como huracanes y sequías. Mujeres, jóvenes y actores dedicados a actividades secundarias se identificaron como grupos clave en el entendimiento del cambio climático. Estos resultados enfatizan la necesidad de involucrar a estos grupos en la toma de decisiones y en las acciones hacia la adaptación y resiliencia al cambio climático de las comunidades rurales de México.

Palabras clave: percepción ambiental; degradación; cambio climático; mapas cognitivos.

Abstract

Forest degradation is one of the central causes of the increase in greenhouse emissions and, consequently, climate change. The analysis of environmental perceptions provides critical information on the decision-making processes

⁴ Esta publicación es resultado de la tesis de Licenciatura desarrollada por la primera autora: “Análisis de las percepciones locales sobre la degradación de la selva baja caducifolia en la parte baja de la subcuenca del Río Purificación, Jalisco, México, mediante mapeo cognitivo”. Dicho escrito se puede consultar en la página TESIUNAM-Tesis del Sistema Bibliotecario de la UNAM (<http://tesis.unam.mx>).

⁵ Bióloga. Facultad de Ciencias, UNAM. Contacto: noemi_b@ciencias.unam.mx

⁶ Investigadora Titular A. Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, UNAM. Contacto: julieta.rosell@ieciologia.unam.mx

⁷ Investigador postdoctoral. Departamento de Ciencias Biológicas. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Contacto: alfonsolangle@gmail.com

by local actors, guiding interventions for management of social-ecological systems. To examine local perceptions regarding dry tropical forest degradation, one of the most ecologically and socially important ecosystems in Mexico, we selected a small rural locality on the Pacific coast. We elicited 28 cognitive maps from local actors who were heterogeneous in age, economic sector, and residence time in the locality. Reflecting the perceptions of actors regarding forest degradation, these maps were analyzed with network metrics. Results showed that forest degradation is perceived as mainly caused by hurricanes and droughts and to a lesser degree by human activities. Links between forest degradation and climate change were virtually only observed among women, young actors, and actors from the secondary economical sector. These results highlight the need to include women and young actors, usually underrepresented, in local and regional decision-making processes, as well as in actions plans towards adaptation and resilience of rural areas in western Mexico under climate change scenarios.

Keywords: environmental perception; degradation; climate change; cognitive maps.

INTRODUCCIÓN

La degradación forestal como conductor del cambio climático

La degradación forestal es una de las principales causas del incremento de gases de efecto invernadero, cuya concentración en la atmósfera es la causa principal del cambio climático (Armenteras y González, 2016; Masson-Delmotte *et al.*, 2019). La degradación forestal se define como el proceso de pérdida en la estructura y funcionalidad de los bosques con consecuencias como el aumento de las emisiones de CO₂, el incremento de la temperatura, la disminución de la precipitación local y la pérdida de resiliencia ante eventos climáticos extremos (Armenteras y González, 2016; Lund, 2009). Así, la degradación forestal resulta en importantes afectaciones en las actividades económicas, sociales y culturales que dependen del buen funcionamiento de los bosques. Por ello, la degradación forestal constituye un grave problema ambiental, social y económico (Vásquez-Grandón *et al.*, 2018).

La degradación forestal y el cambio climático tienen una causa en común: el cambio en el uso de suelo (Masson-Delmotte *et al.*, 2019). De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés *Intergovernmental Panel on Climate Change*), alrededor del 24% de las emisiones de gases de efecto invernadero proviene de los diversos procesos de transformación de las tierras forestales en sistemas agropecuarios y urbanos. A esta dinámica de transformación socioecológica, le subyacen complejos procesos socioeconómicos, que constituyen factores indirectos de degradación, tales como fallas institucionales y de mercado, desarrollo poco planificado y políticas públicas que promueven la expansión de la agricultura, ganadería e infraestructura (Geist y Lambin, 2002).

Se estima que a nivel mundial más de 2,000 millones de hectáreas de bosques han sido degradadas (Vásquez-Grandón *et al.*, 2018). En México, los diversos procesos de degradación forestal involucran alrededor de 300,000 hectáreas por año, siendo los bosques tropicales los más afectados (CONAFOR, 2017). Dentro de estos bosques, la selva baja caducifolia, o selva seca, es uno de los ecosistemas más habitados y también uno de los que presenta mayor degradación (Arias *et al.*, 2002; Hernández-Stefanoni *et al.*, 2020). De acuerdo con Trejo y Dirzo (2000), hasta el año 2000, aproximadamente el 60% de la cobertura original de selva seca en México había sufrido algún tipo de deterioro.

La degradación de la selva seca implica no sólo la pérdida de diversidad biológica y endemismo, sino también la pérdida de múltiples servicios ecosistémicos de los que dependen numerosas comunidades rurales en México

(Balvanera y Maass, 2010). En el contexto del cambio climático, se espera una exacerbación de las condiciones climáticas que caracterizan a este ecosistema: sequías prolongadas y precipitación en forma de tormentas tropicales. Estos cambios se traducen en una mayor vulnerabilidad de las poblaciones ante los efectos sinérgicos de la degradación forestal y el cambio climático (Gavito *et al.*, 2015; Lazos-Chavero *et al.*, 2018).

En la Costa Sur de Jalisco variaciones climáticas extremas ya son percibidas. En los últimos años se han registrado precipitaciones hasta 40% más bajas que el promedio, así como una alta incidencia de huracanes y tormentas tropicales de gran intensidad (Lazos-Chavero *et al.*, 2018; Maass *et al.*, 2018; Stan y Sánchez-Azofeifa, 2019). Las constantes alteraciones del régimen hidrológico en esta zona del Pacífico mexicano constituyen en sí uno de los principales indicadores de degradación forestal (Gavito *et al.*, 2015; Maass *et al.*, 2010). Este proceso de deterioro también se evidencia mediante la pérdida de cobertura vegetal, erosión de suelo, y pérdida de biodiversidad, y tiene como origen la constante expansión de los asentamientos humanos, el desarrollo de actividades agropecuarias y el establecimiento de grandes complejos turísticos (Gavito *et al.*, 2015; Trejo, 2010).

Considerando la importancia socioecológica y las constantes presiones antrópicas que enfrenta la selva seca, es necesario desarrollar estrategias para enfrentar su degradación. Esto es particularmente relevante en un contexto de cambio global donde el buen funcionamiento de este ecosistema se traduce en bienestar para numerosas comunidades. En nuestro país, una de las principales estrategias para la conservación ecológica y mitigación del cambio climático ha sido el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas. Sin embargo, se ha documentado que muchos de estos espacios enfrentan grandes retos para cumplir con sus objetivos debido a la falta de mecanismos adecuados de gobernanza y a la poca participación de los actores locales, lo que ha llevado a la degradación de los ecosistemas protegidos y sus zonas aledañas (Fernández, 2008; Rife *et al.*, 2013). Estas experiencias han mostrado que la conservación ecológica y las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático no son exitosas en ausencia de las visiones, e intereses de las comunidades que construyen su territorio en los ecosistemas forestales.

Por lo anterior, para conservar y manejar sosteniblemente la selva seca resulta crucial conocer la diversidad de percepciones presentes en los actores locales. Estudiar y conocer su percepción ambiental posibilita diseñar políticas ambientales acordes a las necesidades de las comunidades y, en consecuencia, más factibles y efectivas (Fernández, 2008; Murray, 2005). Comprender las percepciones sobre las causas, así como los impactos, de la degradación forestal y el cambio climático facilita el entendimiento individual y colectivo sobre estas problemáticas, permitiendo evaluar cómo estas percepciones influye en la toma de decisiones de los actores locales (Lazos-Chavero *et al.*, 2018).

Percepción ambiental como herramienta esencial para el entendimiento y manejo de los socioecosistemas

La percepción, definida como la forma en que cada individuo aprecia y valora su entorno, es resultado de una continua interacción colectiva con el ambiente natural y social. En esta interacción son importantes las diversas relaciones políticas, económicas, científico-tecnológicas, sociales y culturales en un momento histórico determinado (Fernández, 2008). A su vez, la forma como se percibe la realidad influye en las actitudes que emergen de la interacción con el entorno. En este sentido, la percepción social sobre una problemática ambiental está relacionada con las formas de hacerle frente, permitiéndonos utilizar la percepción como guía para la transformación de los socioecosistemas (Afanasiev, 1971; Fernández, 2008; Meli *et al.*, 2015).

VARIABLES como la edad, género, orientación política y otros atributos socioeconómicos son esenciales para entender las diferentes condiciones que contextualizan las relaciones sociedad-naturaleza, y, por tanto, las problemáticas asociadas a ellas (Brody *et al.*, 2004; Jones *et al.*, 2014). De acuerdo con Brody *et al.* (2004), la mayoría de las investigaciones sobre percepción ambiental se centran en atributos como el género, edad, ingreso y nivel

educativo. Sin embargo, existen otras variables que pueden tener un efecto significativo en las percepciones ambientales como el tiempo de residencia o la actividad económica de los actores locales.

Se ha documentado ampliamente que las percepciones ambientales son diferenciadas según el género, sugiriendo que las mujeres reconocen con mayor facilidad las problemáticas ambientales y los efectos de las mismas (Wallhagen *et al.*, 2018). Lo anterior se ha interpretado como resultado de los diferentes patrones de socialización a los que son expuestos hombres y mujeres, donde se adjudica al sector femenino mayor responsabilidad sobre los trabajos del hogar y el cuidado familiar. Esto se traduce en mayor atención a los factores socioecológicos que afectan este rol (Momsen, 2000; Tindall y Robinson, 2017).

La edad es otro factor que se ha correlacionado con la diversidad de percepciones, mostrando que los jóvenes están más involucrados con las problemáticas ambientales que las personas mayores (Howell y Laska, 1992). Se teoriza que esto es resultado de una exposición diferenciada a los efectos de la degradación ambiental, donde los jóvenes tienen más probabilidades de reconocer las problemáticas ambientales actuales (Ballew *et al.*, 2019; Big-Canoe y Richmond, 2014). No obstante, en poblados de reciente formación podría observarse este patrón de forma inversa, ya que los primeros pobladores (fundadores), individuos de mayor edad, han experimentado drásticos procesos de cambio socioecológico en un corto periodo de tiempo (Meli *et al.*, 2015). Así, el tiempo de residencia podría ser un factor muy importante para explicar las percepciones ambientales y uno que ha sido escasamente estudiado.

La actividad económica también ha sido poco analizada en el contexto de estudios sobre percepción ambiental. Sin embargo, estudios filosóficos sugieren que, en el desarrollo de sus actividades laborales, el hombre adquiere de la naturaleza no sólo los bienes materiales que le son indispensables, sino también relaciones políticas, sociales y ambientales (Afanasiev, 1971). Por ello, se predice que el desarrollo de actividades económicas dependientes de los recursos naturales de forma directa tendría un mayor impacto en la concepción que se tiene sobre la naturaleza y, por tanto, en las percepciones sobre las problemáticas ambientales.

Percepción ambiental en el contexto de los sistemas complejos

Las problemáticas ambientales constituyen en sí sistemas complejos al reconocerse como procesos dinámicos que involucran diversos factores socioecológicos interdependientes que se determinan mutuamente. En este contexto, las percepciones ambientales adquieren su carácter complejo al constituir expresiones de la interacción entre los subsistemas sociales y ecológicos, y están influidas por la misma diversidad de aspectos sociales (Fernández, 2008; García, 2006; Özesmi y Özesmi, 2004).

Para estudiar las percepciones ambientales se han aplicado diversas metodologías cualitativas y cuantitativas. De estas últimas, las entrevistas estructuradas y semiestructuradas han sido las metodologías más utilizadas (Godínez y Lazos, 2016; Meli *et al.*, 2015). Sin embargo, una herramienta cuantitativa que ha cobrado gran relevancia para entender cómo los actores visualizan un sistema específico es el mapeo cognitivo mediante modelos mentales (Giabbanelli *et al.*, 2017; Siqueiros-García *et al.*, 2019). Los modelos mentales son estructuras cognitivas internas que representan cómo se visualiza la realidad externa con base en experiencias personales, percepciones y entendimiento del mundo en general. La representación gráfica de estos modelos mentales se conoce como mapa cognitivo (Axelrod, 1976; Gray *et al.*, 2014).

El mapeo cognitivo tiene su origen en la teoría de grafos (Barnes y Harary, 1983), cuyos principios permiten analizar un sistema complejo mediante su visualización como una red compleja. En esta red, los componentes son llamados nodos y las interacciones entre ellos se conocen como vínculos (Wasserman y Faust, 1994). En el contexto

de la elicitación de mapas cognitivos para el análisis de las percepciones, los nodos representan conceptos y los vínculos relaciones de causa-efecto (Özesmi y Özesmi, 2004). Por lo anterior, el término “mapa cognitivo” y “red” son utilizados como sinónimos a lo largo este capítulo.

Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en Agua Caliente Nueva, una localidad del municipio La Huerta en el Estado de Jalisco (Figura 1). Por su cantidad de población y características socioeconómicas, Agua Caliente Nueva es representativa de las comunidades rurales que habitan las selvas secas de México. El clima característico de la zona es tropical cálido-húmedo, con temperaturas promedio de 24.9°C y una precipitación media anual de 748 a 782mm. En la zona hay dos estaciones bien definidas con las lluvias ocurriendo de julio a octubre y las secas de noviembre a junio (SEMARNAP, 1999). Lo anterior permite que en esta zona exista una diversidad de ambientes que van desde los muy húmedos, como el manglar, hasta los secos estacionales como la selva seca (Godínez, 2003).

Figura 1

Ubicación de Agua Caliente Nueva en el municipio La Huerta, Jalisco, México



Nota: Modificado de Ficha Técnica Hidrológica del Municipio de La Huerta (p.7), por Comisión Estatal del Agua del Estado de Jalisco, 2015, Secretaria General de Gobierno.

Hasta mediados del siglo XX, los ecosistemas de la Costa Sur de Jalisco se habían mantenido poco perturbados debido a que la región permaneció prácticamente aislada. Sin embargo, a partir de 1950 el sector gubernamental impulsó el poblamiento y colonización de la región (SEMARNAP, 1999). El subsecuente reparto de tierras a través de la reforma agraria (1958 y 1976) y las grandes inversiones en el sector turístico en la década de 1970 constituyeron los principales modificadores de la selva seca, considerada actualmente la comunidad vegetal más afectada por las actividades humanas en esta zona costera (Andrade-Romo *et al.*, 2013; Castillo *et al.*, 2007; IIEG, 2018).

Además de esta historia de cambio de uso de suelo, la región se vio afectada en el pasado reciente por tres huracanes de gran magnitud: Jova (2011), Manuel (2013) y Patricia (2015). Estos huracanes afectaron negativamente a la flora y fauna del sitio (Álvarez-Yépez *et al.*, 2018) y causaron daños a viviendas y servicios básicos, así como la pérdida de cultivos por inundaciones, desplazamiento de comunidades e impactos económicos en todos los sectores económicos (Pérez-Sampablo *et al.*, 2016).

Ante este acelerado cambio socioecológico resulta prioritario hacer frente a los diversos procesos de degradación de selva seca, sobre todo en zonas que por sus características geográficas, ambientales y sociales constituyen sitios altamente vulnerables a las variaciones climáticas estacionales y eventos climáticos extremos (Armenteras y González, 2016; Gavito *et al.*, 2015; Holmgren *et al.*, 2013). Acciones para hacer frente a estos procesos de deterioro requieren identificar los factores económicos, políticos y sociales que impulsan los procesos de degradación. En este sentido, el análisis de percepciones ofrece información clave sobre cómo se entiende la degradación de la selva seca y su vínculo con el cambio climático. Este análisis permite identificar aquellos factores que los habitantes reconocen como dañinos para su territorio y las áreas de oportunidad para revertir los procesos de deterioro, así como para aumentar la resiliencia de las comunidades ante un contexto de cambio global. Lo anterior es particularmente relevante en esta zona costera, cuyas características biofísicas y socioeconómicas la vuelven una región vulnerable a los efectos del cambio climático, y donde se han detectado problemas serios de degradación forestal pese al establecimiento de un Área Natural Protegida (Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala) en 1993 (Bezaury, 2010; Castillo *et al.*, 2009; Gavito *et al.*, 2015).

En este trabajo se analizaron las percepciones locales sobre la degradación de la selva seca y el cambio climático en la Costa Sur de Jalisco. A partir de los resultados, se identificaron las principales causas de degradación forestal y sus vínculos con el cambio climático de acuerdo a la percepción local. Además, se examinaron las percepciones diferenciadas según el género, tiempo de residencia en la localidad y la actividad económica. Esto permitió detectar preocupaciones específicas y grupos con mayor sensibilidad a problemáticas ambientales que como resultado podrían tener mayores niveles de participación y acción dentro de la comunidad. Se espera que los resultados permitan guiar intervenciones más adecuadas y viables en las que prevalezcan las preocupaciones e intereses locales en la formulación de acuerdos para la protección y manejo de los socioecosistemas, así como para la implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se aplicaron encuestas y mapeo cognitivo sobre la degradación forestal a 28 habitantes de Agua Caliente Nueva, Jalisco. La muestra se integró por 10 mujeres y 18 hombres en un rango de edad entre 16 y 91 años. Se incluyó una variedad de actores que a pesar de ocupar un espacio común podrían percibir contrastantemente el socioecosistema de acuerdo a su género, contexto económico y tiempo de residencia dentro de la comunidad. Debido al tamaño la localidad, se utilizó un muestreo de bola de nieve, para obtener una muestra representativa de actores con atributos específicos (género, tiempo de residencia y actividad económica). Se buscó que la comparación de mapas cognitivos se realizara entre grupos de tamaño balanceado.

Los atributos sociales y económicos considerados para estas comparaciones fueron los siguientes:

Género	<ul style="list-style-type: none"> • Hombres • Mujeres
Tiempo de residencia	<ul style="list-style-type: none"> • Fundadores: Habitantes que arribaron entre 1950 y 1975 durante la formación del Ejido Reforma Agraria. • Jóvenes: Habitantes originarios de Agua Caliente Nueva, entre 10 y 29 años de edad (OMS, 2016)
Actividad económica	<ul style="list-style-type: none"> • Actividad primaria: Aprovechamiento de los recursos naturales sin transformarlos. Ejemplo: Agricultura y ganadería. • Actividad secundaria: Transformación de materia prima cuyos productos se destinan a otros sectores. Ejemplo: Carpintería. • Actividad terciaria: Distribución de bienes y servicios que se producen en las actividades antes descritas, así como actividades gubernamentales. Ejemplo: Turismo.

Construcción de banco de conceptos

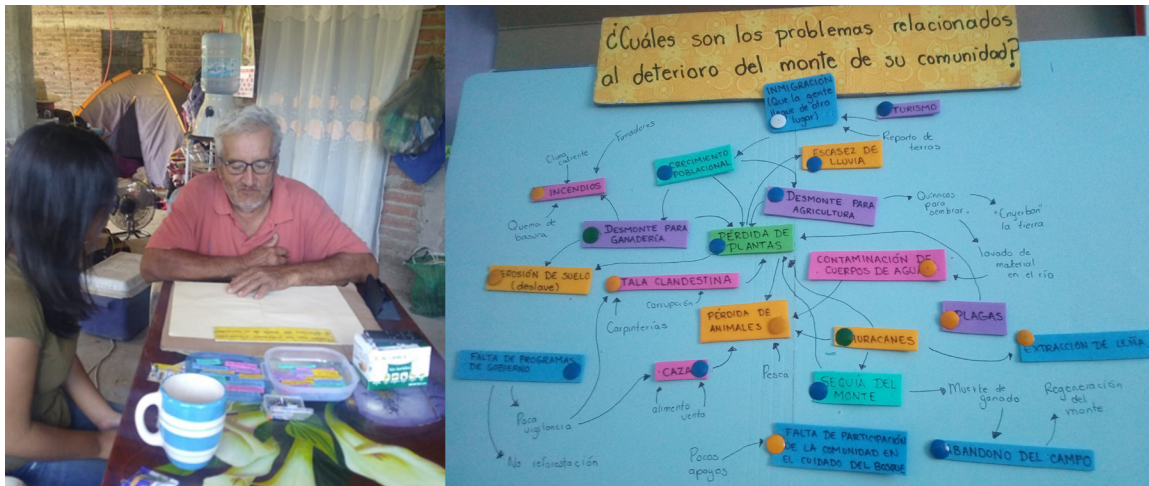
Considerando que los participantes no recuerdan toda la información de forma espontánea en un ejercicio de mapeo cognitivo y en la mayoría de los casos requieren un conjunto de conceptos como punto de partida, se reunieron conceptos centrales relacionados con la degradación de la selva seca (Blanco *et al.*, 2019; Charli-Joseph *et al.*, 2018). Este conjunto de conceptos se obtuvo de la literatura sobre degradación de bosque seco y sobre el área de estudio (p.e. Gavito *et al.*, 2015) y permitió a los participantes tener una base común para la construcción de los mapas cognitivos.

Cuestionario y elicitación de los mapas cognitivos

Se solicitó a cada participante información para caracterizar sus atributos individuales y económicos.⁸ Posteriormente, se elicitó el mapa cognitivo siguiendo el método de Gray *et al.* (2014), Jones *et al.* (2014) y Özesmi y Özesmi (2004). Como primer paso, los participantes fueron informados sobre qué es un mapa cognitivo y cómo se construye. La construcción del mapa se detonó con la pregunta: “En su percepción, ¿Cuáles son los problemas relacionados al deterioro del monte de su comunidad?” y a continuación se mostró el banco de 15 conceptos. Los conceptos se mostraban escritos en rectángulos de plástico de colores, que se podían colocar con tachuelas en un pizarrón de cartón, mientras que los vínculos y conceptos nuevos se plasmaron con un bolígrafo (Figura 2). Debido a que el interés de este trabajo se centró en los procesos causa-efecto de la degradación forestal, cuando fue necesario, se formularon preguntas complementarias que invitaban a los participantes a profundizar sus explicaciones causales. Por ejemplo, si el participante indicaba que el crecimiento poblacional estaba vinculado con la degradación de la selva seca, entonces se le preguntaba ¿por qué?, ¿cómo afecta esto al monte?, ¿se vincula esto con algún otro concepto? También se le cuestionaba ¿falta algún concepto o vínculo que no hemos considerado?, ¿se le ocurre otra causa o consecuencia vinculada a la degradación del monte? Cuando la respuesta era negativa, se daba por terminada la sesión de mapeo cognitivo. Por último, se indicó a los participantes que no era necesario emplear todos los conceptos y que podrían agregar nuevos en cualquier momento del ejercicio. Todas las encuestas fueron grabadas en audio y transcritas textualmente.

⁸ Se entregó a cada participante el consentimiento libre previo e informado de la investigación, con información sobre los objetivos del proyecto, una explicación detallada sobre el uso y resguardo de la información proporcionada, así como de los responsables del proyecto. Este documento fue firmado por los 28 participantes y se resguarda en el Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM. Además, se solicitó el permiso de los participantes para realizar la documentación fotográfica y de audio durante la sesión de preguntas.

Figura 2
Dinámica de elaboración de mapas cognitivos



Nota: A la izquierda, momento de la construcción del mapa cognitivo con un participante (Foto por Andrea Castro). A la derecha, el mapa cognitivo generado por un participante fundador de la comunidad de Agua Caliente Nueva, Jalisco.

Construcción de matrices de adyacencia

De acuerdo con la teoría de grafos, los mapas cognitivos pueden ser transformados en matrices de adyacencia de la forma $A = [a_{ij}]$, donde las variables (conceptos) se enlistan en el eje vertical y horizontal para formar una matriz cuadrada. Si existe un vínculo entre concepto i y el concepto j , la entrada a_{ij} será 1, de lo contrario será 0 (Wasserman y Faust, 1994). Considerando lo anterior, se construyó una matriz de adyacencia por cada mapa individual utilizando Microsoft Office Excel 2010. Las redes resultantes fueron dirigidas y sin peso.

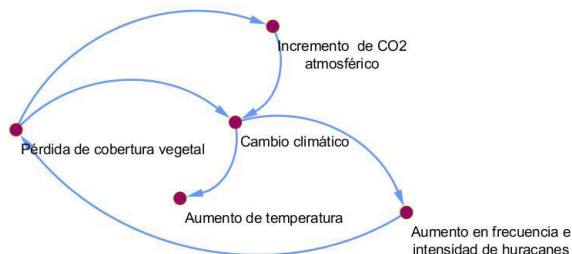
Los 28 mapas cognitivos individuales se combinaron en una matriz agregada para examinar la percepción colectiva sobre la degradación forestal. Este procedimiento también se empleó para la agregación de matrices por atributos: mujeres y hombres, fundadores y jóvenes, y por actividad económica (primaria, secundaria y terciaria). Las redes agregadas por grupo resultaron dirigidas y con pesos (número de mapas en el que se menciona un vínculo específico entre dos conceptos).

Visualización de los mapas cognitivos como redes y métricas para su análisis

La teoría de grafos permite analizar los mapas cognitivos mediante su visualización⁹ como una red. Los componentes que conforman la red, en este caso conceptos, son llamados nodos y las interacciones directas entre ellos vínculos (Figura 3) (Levy *et al.*, 2018).

⁹ Para la visualización de las redes generadas se utilizaron los programas: UCINET versión 6 (Borgatti *et al.*, 2013) y Cytoscape versión 3.7.1. (Institute for Systems Biology, 2002). Se realizó un filtrado de la red considerando una desviación estándar del grado promedio con pesos para permitir una visualización más clara de los conceptos. Se utilizó el algoritmo de visualización Fruchterman y Reingold (1991).

Figura 3
Ejemplo de un mapa cognitivo simplificado sobre cambio climático



Nota: Los nodos (círculos) representan conceptos y los vínculos (flechas) relaciones de causa-efecto.

A continuación, se muestra una tabla con los parámetros básicos¹⁰ considerados en la caracterización de las redes cognitivas (Tabla 1).

Tabla 1
Métricas aplicadas a las redes cognitivas y su interpretación en el contexto de la percepción

Métrica de redes	Descripción e interpretación
Número de nodos (conceptos)	Número de componentes incluidos en el mapa cognitivo. Un alto número de conceptos refleja la percepción de un mayor número de factores involucrados en la degradación forestal.
Número de vínculos (relaciones causales)	Número de conexiones entre los nodos. Un mayor número de vínculos refleja un mayor grado de interacción entre los factores percibidos (Özesmi y Özesmi, 2004)
Frecuencia	Ocurrencia de un nodo en una red agregada (Ruiz y Barnett, 2015). Indica el número de redes en el que fue mencionado un concepto y refleja qué tan socializado es un concepto en el grupo de interés.
Grado	Número de nodos adyacentes a un nodo específico; equivalente al número de vínculos incidentes en él (Wasserman y Faust, 1994). Si los vínculos son dirigidos, los nodos presentan dos tipos de grado: de entrada y de salida (Newman, 2010; Scott, 2011).
Grado de entrada	El grado de entrada de un nodo <i>i</i> es igual al número de vínculos dirigidos hacia él (Newman, 2010; Scott, 2011). En las redes cognitivas funcionan como conceptos consecuencia.
Grado de salida	El grado de salida es igual al número de vínculos dirigidos, a partir de un nodo <i>i</i> hacia otros nodos (Newman, 2010; Scott, 2011). En las redes cognitivas funcionan como conceptos causa.
Centralidad por grado	Suma del grado de salida y entrada de un nodo (Özesmi y Özesmi, 2004). Indica la influencia total de un nodo respecto a otros, reflejando la importancia del mismo dentro del sistema complejo.
Centralidad por intermediación	Grado en el que una palabra está conectada directamente con otras palabras que no están directamente conectadas entre sí (Freeman, 1977). Nodos con una mayor intermediación ejercen más control sobre la red.
Densidad	Proporción del máximo de vínculos posibles considerando el número de nodos presentes (Wasserman y Faust, 1994). Este índice va de 0 a 1 y refleja qué tan interconectada es una red (1 todas las relaciones posibles presentes; 0 ningún vínculo presente).

Nota: Adaptado de Gray *et al.* (2014, p. 8).

¹⁰ Para el análisis de las propiedades estructurales de los modelos mentales se utilizó el software R versión 3.6.0 (R Development Core Team, 2013) con el paquete Statnet (Handcock *et al.*, 2008).

RESULTADOS

Red agregada de los 28 participantes

Los participantes percibieron la degradación de la selva seca de forma integral al incluir como nodos centrales las principales causas de la degradación forestal, elicitando tanto factores naturales como antropogénicos de degradación, así como factores subyacentes que acentúan la problemática ambiental. Los conceptos más mencionados y, por lo tanto, las problemáticas más compartidas por los participantes fueron: deforestación, huracanes, defaunación, sequía y desmonte para ganadería (Tabla 2). De estos conceptos, huracanes y deforestación fueron referidos en los 28 mapas cognitivos (frecuencia igual a 1).

La mayoría de los participantes identificaron los fenómenos hidrometeorológicos extremos como huracanes y sequías como las principales causas de pérdida de cobertura vegetal, defaunación y erosión de suelo, con un grado de salida igual a 0.10 y 0.09, respectivamente. Lo anterior evidencia una percepción dominante asociada con los cambios en el clima. En este mismo sentido, el concepto de cambio climático figuró como un nodo con vínculos causales hacia huracanes y sequías, sin embargo, no se señalaron procesos antropogénicos asociados a él. Como resultado, se evidencia que el concepto de cambio climático se percibe como la causa de eventos meteorológicos extremos, pero no se señalan los procesos antropogénicos que le subyacen.

Por otra parte, los participantes distinguen la deforestación, la defaunación y el abandono del campo como los principales indicadores de degradación forestal, con un grado de entrada igual a 0.23, 0.13 y 0.11, respectivamente. Sin embargo, destaca la pérdida de cobertura vegetal como el principal indicador de degradación de la selva seca. La deforestación también constituyó la palabra que más conceptos vinculó, con una centralidad por intermediación igual a 1. En total, la red agregada presentó 141 conceptos y 347 vínculos.

Tabla 2
Conceptos centrales en la red agregada de los 28 participantes

Número	Concepto	Frecuencia	Grado de entrada	Grado de salida	Centralidad por grado	Centralidad por intermediación
1	Deforestación	1.00	0.23	0.09	0.32	1.00
2	Huracanes	1.00	0.01	0.10	0.11	0.07
3	Defaunación	0.93	0.13	0.01	0.14	0.00
4	Sequías	0.82	0.09	0.09	0.17	0.28
5	Desmonte para ganadería	0.79	0.06	0.07	0.13	0.00
6	Crecimiento poblacional	0.71	0.04	0.08	0.11	0.08
7	Incendios provocados	0.68	0.07	0.06	0.13	0.00
8	Caza	0.68	0.04	0.01	0.04	0.00
9	Alto turismo	0.64	0.04	0.09	0.13	0.00
10	Abandono del campo	0.61	0.11	0.06	0.18	0.01
11	Tala clandestina	0.61	0.09	0.04	0.14	0.22
12	Escasez de lluvia	0.61	0.03	0.06	0.09	0.41
13	Desmonte para agricultura	0.57	0.04	0.04	0.08	0.00
14	Erosión del suelo	0.57	0.06	0.01	0.08	0.00
15	Mala situación económica	0.54	0.09	0.06	0.15	0.00
16	Falta de participación comunitaria	0.50	0.09	0.04	0.12	0.00
17	Plagas en el monte	0.50	0.06	0.04	0.11	0.00
18	Falta de programas de gobierno	0.50	0.00	0.07	0.07	0.00

19	Incendios accidentales	0.46	0.04	0.03	0.06	0.07
20	Contaminación del agua	0.43	0.06	0.04	0.10	0.00
21	Inmigración	0.43	0.04	0.03	0.07	0.00
22	Disponibilidad de leña	0.43	0.01	0.01	0.03	0.00
23	Falta de reforestación	0.39	0.05	0.00	0.05	0.00
24	Cambio climático	0.36	0.01	0.05	0.06	0.00
25	Generación de empleos	0.36	0.03	0.01	0.04	0.00
26	Falta de apoyos económicos	0.32	0.02	0.04	0.06	0.00
27	Apertura de caminos y carreteras	0.29	0.03	0.02	0.05	0.00
28	Corrupción	0.25	0.00	0.05	0.05	0.00

Nota: Todas las medidas se normalizaron. La frecuencia, el grado y la centralidad por grado son sus valores divididos entre los valores máximos posibles. La centralidad por intermediación normalizada es igual a su valor dividido entre el valor máximo obtenido.

Redes agregadas por género, tiempo de residencia y actividad económica

En todas las redes agregadas por grupo socioeconómico, los conceptos más mencionados correspondieron a huracanes, pérdida de cobertura vegetal y defaunación. Sin embargo, pudimos distinguir importantes diferencias entre grupos, tanto en la estructura de la red por su número de nodos, vínculos y densidad (Tabla 3), como en los conceptos centrales de cada grupo.

Tabla 3

Métricas de redes agregadas por grupo socioeconómico

Métrica	Género		Tiempo de residencia		Actividad económica		
	Mujeres	Hombres	Fundadores	Jóvenes	Actividad primaria	Actividad secundaria	Actividad terciaria
Número de nodos	74	134	98	57	107	67	91
Número de vínculos	121	294	132	85	167	96	160
Densidad	0.022	0.016	0.013	0.026	0.014	0.021	0.019

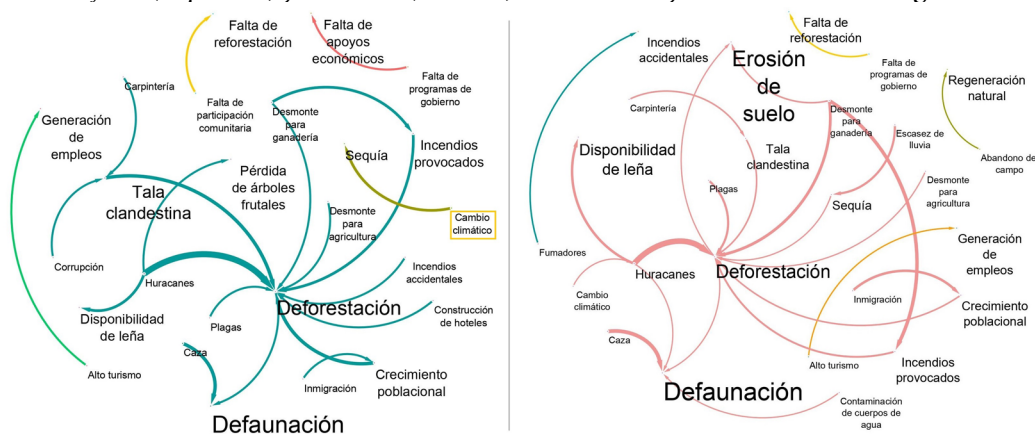
Nota: En cada comparación por grupo se resalta la densidad más alta.

Redes agregadas por género

Las redes agregadas de hombres y mujeres reflejaron grandes similitudes. Sin embargo, en la red agregada de mujeres destacaron las causas indirectas de degradación como la mala situación económica, el alto turismo y el cambio climático, mientras que en la de hombres destacaron factores directos como la tala clandestina y el crecimiento poblacional. Ambos grupos señalaron la deforestación como el concepto con mayor grado de entrada, además de la sequía, la defaunación y el abandono del campo. Aunque ambos grupos reconocieron la sequía como una consecuencia importante de la pérdida de cobertura vegetal, únicamente las mujeres la vincularon con el cambio climático (Figura 4). En total, la red agregada de hombres presentó mayor cantidad de conceptos y vínculos; sin embargo, la red de mujeres resultó más densa (Tabla 3).

Figura 4

Red agregada de mujeres (izquierda) y hombres (derecha) sobre causas y consecuencias de degradación de selva seca.



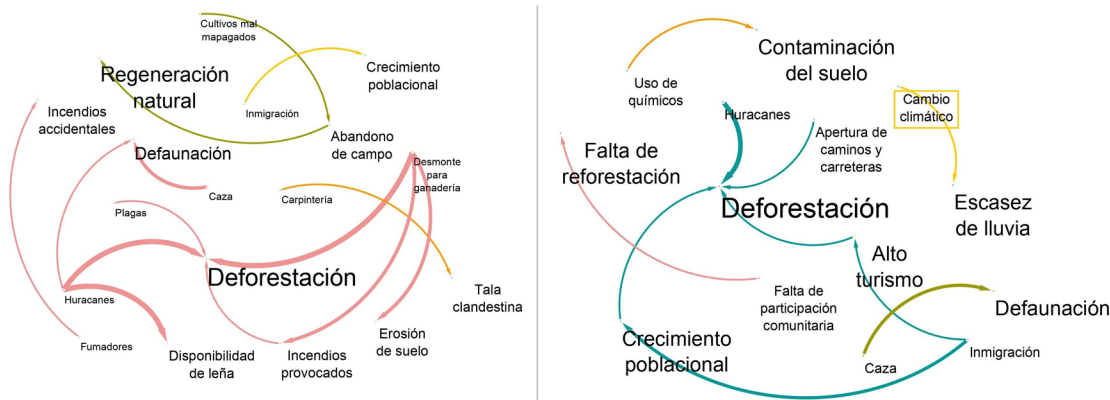
Nota: Redes filtradas con 25 y 26 conceptos, respectivamente, utilizando como criterio de filtrado una desviación estándar de la media. El tamaño de la etiqueta indica la centralidad por vector propio y el grosor del vínculo la frecuencia de co-ocurrencia de dos conceptos en las redes individuales.

Redes agregadas por tiempo de residencia

En la red agregada de los fundadores, los conceptos con mayor grado de salida se centraron en problemáticas vinculadas al campo. En contraste, la red agregada de los jóvenes señaló problemáticas que se han intensificado recientemente en la localidad, tanto climáticas como de origen antropogénico, tales como el cambio climático, la industria turística y el crecimiento poblacional. Es notable que los jóvenes expresaron un vínculo entre el cambio climático y los cambios en la frecuencia e intensidad de los eventos hidrometeorológicos como los huracanes y sequías, ya que esta relación no surgió en otras redes (Figura 5). En total, la red agregada de fundadores presentó mayor cantidad de conceptos y vínculos, pero, contrario a lo esperado, la red de jóvenes fue la más densa (Tabla 3).

Figura 5

Red agregada de fundadores (izquierda) y jóvenes (derecha) sobre las causas y consecuencias de la degradación de selva seca.



Nota: Redes filtradas con 18 y 14 conceptos, respectivamente, utilizando como criterio de filtrado una desviación estándar de la media. El tamaño de la etiqueta indica la centralidad por vector propio y el grosor del vínculo la frecuencia de co-ocurrencia de dos conceptos en las redes individuales.

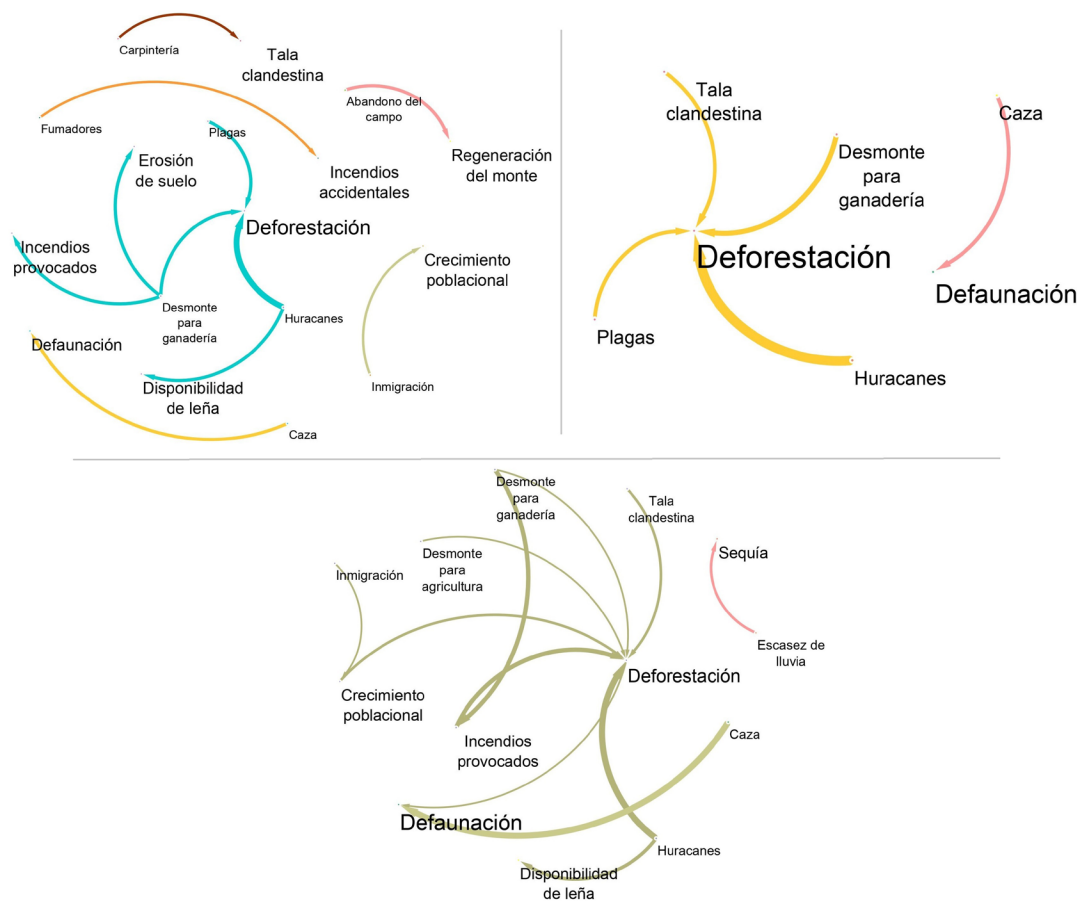
Redes agregadas por actividad económica

Los conceptos centrales de cada grupo por actividad económica estuvieron claramente diferenciados y estrechamente relacionados con el sector productivo al que pertenecen. Por una parte, el sector primario destacó conceptos vinculados al campo; por otra, el sector secundario resaltó la extrema variación climática y, finalmente, el sector terciario señaló factores de degradación indirectos asociados a la situación económica y social de la Costa de Jalisco (Figura 6).

Las principales causas de degradación percibidas por los campesinos fueron los incendios provocados, las plagas, el uso de agroquímicos y el desmote para ganadería, conceptos vinculados directamente con su actividad económica. El sector secundario, conformado en su mayoría por carpinteros, señaló el cambio climático, la falta de programas de gobierno y la mala situación económica como factores indirectos asociados a la degradación de la selva seca. Finalmente, el sector terciario, además de los conceptos ya mencionados, resaltó la contaminación de cuerpos de agua y su efecto en la pérdida de diversidad faunística. En general, esta última red presentó mayor cantidad de conceptos y vínculos, sin embargo, la red más densa fue la de los actores con actividad económica secundaria (Tabla 3).

Figura 6

Red agregada de actividad primaria (superior izquierda), actividad secundaria (superior derecha) y actividad terciaria (inferior centro) sobre causas y consecuencias de la degradación de selva seca.



Nota: Redes filtradas con 17, 7 y 13 conceptos, respectivamente, utilizando como criterio de filtrado una desviación estándar de la media. El tamaño de la etiqueta indica la centralidad por vector propio y el grosor del vínculo la frecuencia de co-ocurrencia de dos conceptos en las redes individuales.

DISCUSIÓN

La percepción generalizada de los 28 participantes en este estudio integró problemáticas que constituyen indicadores de degradación forestal, así como causas y consecuencias de carácter socioecológico vinculadas a dicha degradación. Lo anterior evidencia que la comunidad de Agua Caliente Nueva identifica y analiza la existencia de la degradación forestal como una problemática presente resultado de múltiples factores que se condicionan recíprocamente.

Como se observó en la red agregada de los 28 participantes y las redes agregadas por grupo, las principales causas de degradación identificadas por los participantes fueron aquellos conceptos vinculados a condiciones meteorológicas que se han tornado extremas en el pasado reciente, como huracanes y sequías. Esta percepción es atribuida principalmente a la experiencia directa y reciente de desastres naturales como los huracanes Jova (2011), Manuel (2013) y Patricia (2015) (Pérez-Sampablo *et al.*, 2016; Spence *et al.*, 2011; Whitmarsh, 2008). Estos huracanes tuvieron impactos diferenciados por su magnitud y sus características intrínsecas. Los huracanes Jova y Manuel (categoría 2 y 1, respectivamente) se caracterizaron por los altos niveles de precipitación en la región, lo que resultó en una constante recuperación de selva seca y sus remanentes (Martínez-Ramos *et al.*, 2018). Por el contrario, el huracán Patricia (categoría 5), que alcanzó velocidades de hasta 295 km/h, causó pérdida en altura y densidad de la cubierta forestal, erosión de suelo y desbordamiento de ríos, así como afectaciones socioeconómicas en las comunidades de la costa, tales como la pérdida de cultivos por inundaciones, desplazamiento de comunidades, pérdidas materiales, e incluso personas heridas o fallecidas (Álvarez-Yépiz *et al.*, 2018; Pérez-Sampablo *et al.*, 2016). La costa de Jalisco ha experimentado constantemente este tipo de fenómenos hidrometeorológicos por las características particulares de su geografía. Sin embargo, el IPCC (2013) predice que estos eventos aumentarán su intensidad como resultado del cambio climático durante el siglo XXI (Christensen y Kumar, 2013; Manson y Jardel, 2009), volviéndose más parecidos al huracán Patricia en intensidad e impactos.

A pesar de que, como ya se ha mencionado, los eventos climáticos extremos están asociados con el cambio climático (IPCC, 2013), únicamente las redes más densas y pertenecientes a mujeres, jóvenes y actores con actividad secundaria, establecieron este vínculo. Esto evidenció que establecer esta relación es altamente complejo y no necesariamente común entre los actores locales. El “cambio climático” es un concepto abstracto y poco socializado en las comunidades rurales (Spence *et al.*, 2011), por lo que existe un entendimiento limitado de sus consecuencias, pero sobre todo de sus causas. Como evidencia, este estudio muestra que en el vínculo causal entre cambio climático y los eventos meteorológicos extremos, el cambio climático fue percibido como un nodo con vínculos hacia afuera únicamente. No se reconoce la incidencia de las actividades antrópicas en el origen del cambio climático.

La ausencia de vínculos entre el cambio climático y actividades antrópicas tiene importantes implicaciones en la toma de decisiones locales. Si los actores locales no reconocen las causas antropogénicas de degradación y cambio climático, difícilmente reconocerán que su comportamiento puede causar cambios significativos en pro del ambiente y posiblemente estarán poco interesados en exigir e impulsar acciones que cambien la trayectoria de deterioro ambiental. En ese sentido O'Connor *et al.* (1999) afirman que es más probable que un problema con una causa humana percibida resulte en soluciones humanas en comparación con un problema con una causa natural percibida como más allá del control humano.

La literatura sobre degradación de selva seca muestra los disturbios antropogénicos como los principales detonadores de riesgos y amenazas en la selva seca en esta región de la costa de Jalisco (Balvanera y Maass, 2010). Sin embargo, en la percepción de los participantes, conceptos como la tala clandestina, el desmonte para ganadería y el crecimiento poblacional se posicionaron en segundo plano. Aunque estos conceptos coinciden con la historia

de cambio de uso de suelo que ha experimentado la localidad desde 1950, no existe una concordancia entre los principales factores de deterioro documentados en la literatura y las percepciones locales sobre las causas de degradación. Esta discordancia puede atribuirse a una falta de vinculación entre las instituciones académicas, gubernamentales y locales, que resulta destacable considerando la existencia del Área Natural Protegida Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala como estrategia de conservación de la selva seca (Castillo *et al.*, 2007).

Percepción diferenciada entre mujeres y hombres: Las sequías como consecuencia del cambio climático vs. las sequías como causa de deforestación

La centralidad nodal y estructura de las redes por género reflejaron importantes diferencias entre percepciones de hombres y mujeres. Ambos grupos reconocieron a la sequía como un concepto con alta centralidad en la red; sin embargo, las mujeres señalaron la sequía como una consecuencia del cambio climático, mientras los hombres la plasmaron como una causa de pérdida de cobertura vegetal. Estas percepciones de las mujeres corresponden al entendimiento de la sequía como evento climático extremo resultado del cambio climático. El origen de este proceso yace en las variaciones extremas de temperatura, así como en la magnitud, duración y sincronización de los regímenes de lluvia a nivel global y local, que conducen no sólo a la reducción de los bosques, sino también a cambios en la composición de las especies forestales (Allen *et al.*, 2017; Dai *et al.*, 2015).

En los resultados resalta que únicamente las mujeres explicitan el vínculo entre sequías y cambio climático. En este sentido, trabajos previos han documentado que los efectos del cambio climático son más sobresalientes para las mujeres que para los hombres dado que éstas son más vulnerables a fenómenos relacionados con la variación climática (Godínez y Lazos, 2016; Swai *et al.*, 2012). Esta vulnerabilidad es asociada a las responsabilidades diferenciadas adjudicadas socialmente (Rahman, 2013). Aunque las mujeres están más preocupadas por las cuestiones ambientales, los hombres son más activos políticamente (Tindall y Robinson, 2017). Esto último tiene como resultado una limitada participación de las mujeres en la toma de decisiones y un limitado acceso al poder (Rahman, 2013; Rico, 1998). Sin embargo, este trabajo sugiere que las mujeres son un grupo clave en el proceso de hacer frente a los diversos procesos de degradación de la selva seca y resulta imperativo incluir sus percepciones en la toma de decisiones y formulación de acuerdos locales y regionales.

Percepción diferenciada entre fundadores y jóvenes: El abandono del campo vs. el alto turismo como causa de degradación forestal

La centralidad nodal y estructura de las redes por tiempo de residencia reflejaron importantes diferencias entre percepciones de fundadores y jóvenes. Los participantes fundadores enfocaron su percepción en problemáticas vinculadas al campo, lo cual se atribuye a que el 75% de estos participantes derivan su principal ingreso económico de la actividad primaria. Específicamente, el abandono del campo surgió como un concepto central con importantes efectos negativos en la conservación de selva seca, ya que generalmente el abandono de parcelas y zonas de pastizales no implica la regeneración del ecosistema. Por el contrario, muchos de estos espacios son rentados o vendidos a personas externas a la localidad para agricultura o ganadería extensiva o para infraestructura turística. Estas actividades terminan por modificar fuertemente el entorno biofísico, pero también las dinámicas económicas y sociales (Andrade-Romo *et al.*, 2013).

A diferencia de los fundadores, los jóvenes hicieron poca mención del campo; en su lugar, plasmaron a la actividad turística como un fuerte impulsor de cambio socioecosistémico al estar involucrada en procesos de contaminación, deforestación y crecimiento poblacional. Sin embargo, también señalaron que el turismo se ha vuelto

una necesidad al volverse una fuente de ingresos muy importante. Aunque estos resultados evidencian la poca participación juvenil en el trabajo campesino, los jóvenes expresaron un vínculo poco explorado en otras redes: el turismo como impulsor de cambio socioecosistémico. Esta diferenciación podría ser atribuida al nivel educativo de los participantes, ya que se ha documentado que a mayor nivel educativo existe una tendencia a sostener una actitud negativa hacia el turismo (Andrade-Romo *et al.*, 2013; Besel *et al.*, 2017), características que aplican a los jóvenes de la localidad.

Los jóvenes ubicaron al cambio climático como concepto central. Diversos estudios muestran que grupos de menor edad, particularmente aquellos con más años de educación formal, tienden a reconocer la existencia del cambio climático, sus efectos y su naturaleza antropogénica (Milfont *et al.*, 2015; Poortinga *et al.*, 2011). Esta observación coincide con nuestros resultados, al incluir la red de jóvenes al cambio climático asociado a huracanes, sequías, deforestación, defaunación y pérdida servicios ecosistémicos.

Considerando las diferencias observadas entre las redes de fundadores y jóvenes, es sumamente importante considerar el papel que pueden desempeñar ambos grupos en el camino hacia el manejo sostenible de la selva seca y la mitigación del cambio climático. Los fundadores, por su experiencia en la zona y la actividad económica que desempeñan, son actores sumamente importantes en el proceso de recuperación de remanentes de selva seca. Por su parte, los jóvenes constituyen un grupo clave en el entendimiento de la degradación forestal y el cambio climático como sistemas complejos. Este trabajo busca construir bases teóricas para impulsar un diálogo intergeneracional que permita exponer diferentes perspectivas, visiones, preocupaciones e intereses (Big-Canoe y Richmond, 2014).

Percepción diferenciada por sector de la economía: El cambio climático como factor que vulnera las diferentes actividades económicas

Las principales diferencias en la percepción por sector económico correspondieron con factores que vulneran su actividad cotidiana. Así, los campesinos reflejaron su preocupación por la incidencia de huracanes, incendios forestales y plagas, factores que causan importantes daños a los cultivos y vulneran su subsistencia (Pulido y Bocco, 2014). Aunque el cambio climático agrava los riesgos para los sistemas agroalimentarios (FAO y UNEP, 2020; Rosset y Altieri, 2018), los participantes no expresaron vínculos con el concepto de cambio climático, lo que constituye una importante limitante en la búsqueda de resiliencia y seguridad alimentaria por parte de las comunidades costeras ante el cambio climático.

Por otra parte, los actores de actividad secundaria, carpinteros en su mayoría, sí incluyeron al concepto de cambio climático dentro de sus redes cognitivas. Esto se atribuye a que las especies maderables, materia prima de su trabajo, están severamente afectadas por efecto del cambio climático incluyendo mortandad de árboles maderables por sequía, enfermedades y plagas (Bernier y Schoene, 2009). Estos actores surgen como grupo clave en el entendimiento de la degradación forestal y cambio climático, no sólo por explicitar el cambio climático dentro de su red, sino por evidenciar un pensamiento más sistémico de estas problemáticas ambientales (Levy *et al.*, 2018).

Finalmente, los comerciantes y prestadores de servicios turísticos, que conformaron el grupo de actividad terciaria, resaltaron problemáticas vinculadas con la escasez de agua y condiciones climáticas como los huracanes, eventos que disminuyen la ocupación turística y generan importantes pérdidas económicas (Andrade-Romo *et al.*, 2013). Estos resultados evidenciaron una preocupación generalizada ante los efectos directos o indirectos de las variaciones climáticas extremas como resultado del cambio climático antropogénico. Sin embargo, no existe una clara conceptualización de esta problemática ambiental.

CONCLUSIONES

La selva seca es un socioecosistema de gran importancia a nivel nacional por su importancia ecológica y el gran número de medios de vida que sustenta. En la costa de Jalisco, la selva seca experimenta de manera natural sequías estacionales y tormentas tropicales que generan la precipitación durante el verano. Sin embargo, cuando estos eventos climáticos aumentan su frecuencia y sobre todo su intensidad, los ecosistemas y las poblaciones que habitan estos ecosistemas son muy vulnerables a efectos caóticos. La degradación forestal, impulsada principalmente por el cambio de uso de suelo forestal hacia uno urbano, turístico y agropecuario, ha ocasionado que esta vulnerabilidad aumente aun más.

Los esfuerzos para enfrentar esta vulnerabilidad y para implementar acciones de adaptación y mitigación ante el cambio climático demandan un buen entendimiento de las percepciones locales sobre las causas de degradación de la selva seca. Identificar las visiones e intereses de estos actores en cuanto a los efectos del cambio climático y la degradación forestal representan un esfuerzo muy importante para entender comportamientos y actitudes, permitiendo diseñar políticas públicas más eficaces e incluyentes. Nuestros resultados muestran que las principales causas de degradación forestal percibidas en nuestra área de estudio están asociadas a consecuencias directas del cambio climático (huracanes, sequías). Sin embargo, pocos participantes reconocen el vínculo causal entre los procesos de degradación y el cambio climático. Asimismo, no se reconoce a las actividades humanas como amenazas relevantes para el socioecosistema. Estas percepciones no solo contrastan con la literatura científica sobre las causas de degradación forestal en el área, que apuntan a la tala clandestina, los asentamientos humanos y el sector turístico como principales impulsores de cambio socioecosistémico, sino que resaltan el gran reto para frenar y revertir los procesos de degradación y emisión de gases de efecto invernadero en la zona. Futuros estudios deberán enfocarse en estrategias de educación y comunicación ambiental para un mejor entendimiento de conceptos como “degradación” y “cambio climático”, mismos que son predominantes en entornos académicos, gubernamentales y de la sociedad civil, pero que tienen poca difusión en las comunidades rurales.

A pesar de la falta de vinculación entre el cambio climático y factores antropogénicos que lo causan, las mujeres y jóvenes, además de actores con actividad económica secundaria, representan actores clave en futuras intervenciones en la zona. Estos grupos mostraron mapas cognitivos más sistémicos que incluyeron al cambio climático como una problemática importante dentro de su comunidad. Ello no significa que el resto de los grupos sean menos importantes para toma de decisiones sobre el socioecosistema, pero los grupos con mapas cognitivos más integrales pueden llegar a consensos rápidamente al tener una visión más amplia de los diversos procesos que convergen en una problemática particular. Por ello, debe promoverse la participación pública de sectores como las mujeres y los jóvenes, mismos que usualmente son excluidos o tienen poca participación en foros de toma de decisiones.

Finalmente, nuestros resultados resaltan la utilidad del mapeo cognitivo para el análisis de la percepción ambiental. A través del análisis de redes y un enfoque de sistemas complejos, el mapeo cognitivo permite un entendimiento más profundo y cuantificable de la percepción que complementa aproximaciones cualitativas más tradicionales en el estudio de las percepciones ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la comunidad de Agua Caliente Nueva por abrirnos las puertas de sus hogares y permitirnos ser parte de su espacio y de sus reflexiones; gracias a cada uno de los participantes por compartirnos sus visiones,

preocupaciones e intereses; dedicamos este esfuerzo a ustedes. Investigación realizada gracias al Programa UNAM-PAPIIT IN210220 y al proyecto CONACyT 237061. Alfonso Langle agradece el apoyo otorgado al programa de Estancias Posdoctorales por México del CONACYT.

REFERENCIAS

- Afanasiev, V. (1971). *Fundamentos de filosofía* (H. Juárez, Trad.). Editores Mexicanos Unidos.
- Allen, K., Dupuy, J. M., Gei, M. G., Hulshof, C., Medvigy, D., Pizano, C., Salgado-Negret, B., Smith, C. M., Trierweiler, A., Van Bloem, S. J., Waring, B. G., Xu, X., y Powers, J. S. (2017). Will seasonally dry tropical forests be sensitive or resistant to future changes in rainfall regimes? *Environmental Research Letters*, 12(2), 15.
- Álvarez-Yépiz, J. C., Martínez-Yrizar, A., y Fredericksen, T. S. (2018). Special Issue: Resilience of tropical dry forests to extreme disturbance events. *Forest Ecology and Management*, 426, 1-6.
- Andrade-Romo, E., Chávez-Dagostino, R. M., Espinoza-Sánchez, R., Cornejo-Ortega, J. L., y Gómez-Morales, T. (2013). *Percepción de los impactos del turismo de naturaleza en la costa de Jalisco* (1.ª ed.). Centro Universitario de la Costa.
- Arias, D., Dorado, O., y Maldonado, B. (2002). Biodiversidad e importancia de la selva baja caducifolia: La Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla. *Biodiversitas*, 45(7), 7-12.
- Armenteras, D., y González, T. (2016). Degradación de bosques: Contexto y definiciones. En D. Armenteras, T. M. González, J. Retana, y J. M. Espelta (Eds.), *Degradación de bosques en Latinoamérica: Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales* (pp. 9-39). IBERO-REDD+.
- Axelrod, R. (1976). *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*. Princeton University Press.
- Ballew, M., Marlon, J., Rosenthal, S., Gustafson, A., Kotcher, J., Maibach, E., y Leiserowitz, A. (2019). *Do younger generations care more about global warming?* [Yale Program on Climate Change Communication].
- Balvanera, P., y Maass, M. (2010). Los servicios ecosistémicos que proveen las selvas secas. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury, y R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (1.ª ed., pp. 251-269). Fondo de Cultura Económica.
- Barnes, J. A., y Harary, F. (1983). Graph theory in network analysis. *Social networks*, 5(2), 235-244.
- Bernier, P., y Schoene, D. (2009). La adaptación de los bosques y su ordenación al cambio climático: Una visión de conjunto. *Unasylva*, 60, 5-11.
- Besel, R. D., Burke, K., y Christos, V. (2017). A life history approach to perceptions of global climate change risk: Young adults' experiences about impacts, causes, and solutions. *Journal of Risk Research*, 20(1), 61-75.
- Bezaury, J. (2010). Las selvas secas del Pacífico mexicano en el contexto mundial. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury, y R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (1.ª ed., pp. 21-40). Fondo de Cultura Económica.
- Big-Canoe, K., y Richmond, C. A. M. (2014). Anishinabe youth perceptions about community health: Toward environmental repossession. *Health & Place*, 26, 127-135.
- Blanco, J., Sourdril, A., Deconchat, M., Ladet, S., y Andrieu, E. (2019). Social drivers of rural forest dynamics: A multi-scale approach combining ethnography, geomatic and mental model analysis. *Landscape and Urban Planning*, 188, 132-142.
- Borgatti, S. P., Everett, M. G., y Johnson, J. C. (2013). *Analyzing social networks*. SAGE Publications Ltd.
- Brody, S. D., Highfield, W., y Alston, L. (2004). Does Location Matter?: Measuring Environmental Perceptions of Creeks in Two San Antonio Watersheds. *Environment and Behavior*, 36(2), 229-250.

- Castillo, A., Godínez, C., Schroeder, N., Galicia, C., Pujadas, A., y Martínez, L. (2009). El bosque tropical seco en riesgo: Conflictos entre uso agropecuario, desarrollo turístico y provisión de servicios ecosistémicos en la costa de Jalisco, México. *Interciencia*, 34(12), 844-850.
- Castillo, A., Pujadas, A., y Schroeder, N. (2007). La Reserva de la Biosfera Chamela-Cuixmala, México: Perspectivas de los pobladores rurales sobre el bosque tropical seco y la conservación de ecosistemas. En G. Halffter, S. Guevara, y A. Melic (Eds.), *Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica* (1.ª ed., Vol. 6, pp. 245-254). Sociedad Entomológica Aragonesa.
- Charli-Joseph, L., Siqueiros-García, J. M., Eakin, H., Manuel-Navarrete, D., y Shelton, R. (2018). Promoting agency for social-ecological transformation: A transformation-lab in the Xochimilco social-ecological system. *Ecology and Society*, 23(2), 46.
- Christensen, J. H., y Kumar, K. K. (2013). Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. En T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, y P. M. Midgley (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1217-1308). Cambridge University Press.
- Comisión Estatal del Agua del Estado de Jalisco. (2015). *Ficha Técnica Hidrológica del Municipio de La Huerta*. Secretaría General de Gobierno. https://www.ceajalisco.gob.mx/doc/fichas_hidrológicas/region11/la%20huerta.pdf
- CONAFOR. (2017). *Estrategia Nacional REDD+ 2017-2030*. ENAREDD+.
- Dai, A., Fyfe, J. C., Xie, S.-P., y Dai, X. (2015). Decadal modulation of global surface temperature by internal climate variability. *Nature Climate Change*, 5(6), 555-559.
- FAO, y UNEP. (2020). *The State of the World's Forests 2020*.
- Fernández, Y. (2008). ¿Por qué estudiar las percepciones ambientales? *Espiral, Estudios sobre Estado y Sociedad*, 15(43), 179-202.
- Freeman, L. C. (1977). Set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40, 35-41.
- Fruchterman, T., y Reingold, E. (1991). Graph drawing by force-directed placement. Software. *Practice and Experience*, 21(11), 1129-1164.
- García, R. (2006). Los componentes de un sistema complejo. En *Sistemas complejos: Conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria* (1.ª ed., pp. 47-52). Gedisa.
- Gavito, M. E., Martínez-Yrizar, A., Ahedo, R., Ayala, B., Ayala, R., Balvanera, P., Benítez, J., Cotler, H., Maass, M., Martínez-Hernández, L., Martínez-Meyer, E., Nava-Mendoza, M., Ortega, M. A., Renton, K., y Siddique, I. (2015). La vulnerabilidad del socio-ecosistema de bosque tropical seco de Chamela, Jalisco, al cambio global: Un análisis de sus componentes ecológicos y sociales. *Investigación ambiental*, 6(2), 109-126.
- Geist, H. J., y Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, 52(2), 143-150.
- Giabbanelli, P. J., Gray, S. A., y Aminpour, P. (2017). Combining fuzzy cognitive maps with agent-based modeling: Frameworks and pitfalls of a powerful hybrid modeling approach to understand human-environment interactions. *Environmental Modelling & Software*, 95, 320-325.
- Godínez, L., y Lazos, E. (2016). Sentir y percepción de las mujeres sobre el deterioro ambiental: Retos para su empoderamiento. En V. Vázquez, M. P. Castañeda, N. J. Cárcamo, y A. Santos (Eds.), *Género y medio ambiente en México* (pp. 197-233). Universidad Nacional Autónoma de México, Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias.

- Godínez, M. C. (2003). *Percepciones del sector turismo sobre el ambiente, los servicios ecosistémicos y las instituciones relacionadas con la conservación del ecosistema de selva baja caducifolia en la costa Sur de Jalisco* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gray, S. A., Zanre, E., y Gray, S. R. J. (2014). Fuzzy Cognitive Maps as Representations of Mental Models and Group Beliefs. *Fuzzy Cognitive Maps for Applied Sciences and Engineering*, 54, 29-48. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39739-4_2
- Handcock, M. S., Hunter, D. R., Butts, C. T., Goodreau, S. M., y Morris, M. (2008). Statnet: Software tools for the representation, visualization, analysis and simulation of network data. *Journal of Statistical Software*, 24(1).
- Hernández-Stefanoni, J. L., Castillo-Santiago, M. Á., Mas, J. F., Wheeler, C. E., Andres-Mauricio, J., Tun-Dzul, F., George-Chacón, S. P., Reyes-Palomeque, G., Castellanos-Basto, B., Vaca, R., y Dupuy, J. M. (2020). Improving aboveground biomass maps of tropical dry forests by integrating LiDAR, ALOS PALSAR, climate and field data. *Carbon Balance and Management*, 15(1), 15.
- Holmgren, M., Hirota, M., van Nes, E. H., y Scheffer, M. (2013). Effects of interannual climate variability on tropical tree cover. *Nature Climate Change*, 3(8), 755-758.
- Howell, S., y Laska, S. (1992). The changing face of the environmental coalition. *Environment and Behavior*, 24(1), 134-144.
- IIEG. (2018). *Costa Sur Diagnóstico de la Región*. IIEG.
- Institute for Systems Biology. (2002). *Cytoscape versión 3.7.1*.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (T. F. Stocker, D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, y P. M. Midgley, Eds.). Cambridge University Press.
- Jones, N. A., Ross, H., Lynam, T., y Perez, P. (2014). Eliciting Mental Models: A Comparison of Interview Procedures in the Context of Natural Resource Management. *Ecology and Society*, 19(1), 13.
- Lazos-Chavero, E., Mwampamba, T. H., y García-Frapolli, E. (2018). Uncovering links between livelihoods, land-use practices, vulnerability and forests after hurricane Jova in Jalisco, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 426, 27-38.
- Levy, M. A., Lubell, M. N., y McRoberts, N. (2018). The structure of mental models of sustainable agriculture. *Nature Sustainability*, 1(8), 413-420. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0116-y>
- Lund, G. (2009). *What is a degraded forest?* FAO. http://home.comcast.net/~gyde/2009forest_degrade.doc
- Maass, M., Ahedo-Hernández, R., Araiza, S., Verduzco, A., Martínez-Yrizar, A., Jaramillo, V. J., Parker, G., Pascual, F., García-Méndez, G., y Sarukhán, J. (2018). Long-term (33 years) rainfall and runoff dynamics in a tropical dry forest ecosystem in western Mexico: Management implications under extreme hydrometeorological events. *Forest Ecology and Management*, 426, 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.040>
- Maass, M., Búrquez, A., Trejo, I., Valenzuela, D., Morales, M., Rodríguez, M., y Arias, H. (2010). Amenazas. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury, y R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (1.ª ed., pp. 321-346). Fondo de Cultura Económica.
- Manson, R. H., y Jardel, E. J. (2009). Perturbaciones y desastres naturales: Impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico. En *Capital natural de México* (Vol. 2, pp. 131-184). CONABIO.
- Martínez-Ramos, M., Balvanera, P., Arreola Villa, F., Mora, F., Maass, J. M., y Maza-Villalobos Méndez, S. (2018). Effects of long-term inter-annual rainfall variation on the dynamics of regenerative communities during the old-field succession of a neotropical dry forest. *Forest Ecology and Management*, 426, 91-100.

- Masson-Delmotte, V., Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO, y United Nations Environment Programme. (2019). *Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems : summary for policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Meli, P., Landa, R., López-Medellín, X., y Carabias, J. (2015). Social Perceptions of Rainforest and Climatic Change from Rural Communities in Southern Mexico. *Ecosystems*, 18(8), 1343-1355.
- Milfont, T. L., Milojev, P., Greaves, L. M., y Sibley, C. G. (2015). Socio-structural and psychological foundations of climate change beliefs. *Psychology of Climate Change Beliefs*, 44(1), 17-30.
- Momsen, J. H. (2000). Gender Differences in Environmental Concern and Perception. *Journal of Geography*, 99(2), 47-56.
- Murray, G. D. (2005). Multifaceted Measures of Success in Two Mexican Marine Protected Areas. *Society & Natural Resources*, 18(10), 889-905.
- Newman, M. E. (2010). *Networks. An introduction*. Oxford University Press.
- O'Connor, R. E., Bord, R. J., y Fisher, A. (1999). Risk perceptions, general environmental beliefs, and willingness to address climate change. *Risk Analysis*, 19(3), 461-471.
- OMS. (2016). Desarrollo en la adolescencia. Salud adolescente. *Adolescent*. https://www.who.int/maternal_child_adolescent/topics/adolescence/dev/es/
- Özesmi, U., y Özesmi, S. L. (2004). Ecological models based on people's knowledge: A multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological Modelling*, 176, 43-64. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.10.027>
- Pérez-Sampablo, L. M., Martínez Robles, C. L., Farfán Molina, L. M., y Tereshchenko, I. (2016). Pronóstico y precipitación de los ciclones Jova (2011), Manuel (2013) y Patricia(2015) que afectaron al estado de Jalisco. *Teoría y Praxis*, 12(Especial, Octubre 2016), 10-30. <https://doi.org/10.22403/UQROOMX/TYPNE2016/01>
- Poortinga, W., Spence, A., Whitmarsh, L., Capstick, S., y Pidgeon, N. F. (2011). Uncertain climate: An investigation into public scepticism about anthropogenic climate change. *Global Environmental Change*, 21(3), 1015-1024. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.03.001>
- Pulido, J., y Bocco, G. (2014). Local Perception of Land Degradation in Developing Countries: A Simplified Analytical Framework of Driving Forces, Processes, Indicators and Coping Strategies. *Living Reviews in Landscape Research*, 8(4), 5-17. <https://doi.org/10.12942/lrlr-2014-4>
- R Development Core Team. (2013). *R versión 3.6.0*.
- Rahman, Md. S. (2013). Climate Change, Disaster and Gender Vulnerability: A Study on Two Divisions of Bangladesh. *American Journal of Human Ecology*, 2(2), 72-82. <https://doi.org/10.11634/216796221302315>
- Rico, M. N. (1998). *Género, medio ambiente y sustentabilidad del desarrollo*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Rife, A. N., Erisman, B., Sanchez, A., y Aburto-Oropeza, O. (2013). When good intentions are not enough ... Insights on networks of "paper park" marine protected areas: Concerns regarding marine "paper parks". *Conservation Letters*, 6(3), 200-212. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2012.00303.x>
- Rosset, P., y Altieri, M. (2018). Resiliencia ante la variabilidad climática. En A. Porrás (Trad.), *Agroecología. Ciencia y política* (3.ª ed., pp. 141-152). Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología.
- Ruiz, J. B., y Barnett, G. A. (2015). Exploring the presentation of HPV information online: A semantic network analysis of websites. *Vaccine*, 33(29), 3354-3359. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2015.05.017>

- Scott, J. (2011). Social network analysis: Developments, advances, and prospects. *Social Network Analysis and Mining*, 1, 21-26.
- SEMARNAP. (1999). *Programa de manejo de la reserva de la biosfera Chamela-Cuixmala Jalisco, México: Diagnóstico y estrategia de conservación*. Instituto Nacional de Ecología, Unidad Coordinadora de Áreas Naturales Protegidas.
- Siqueiros-García, J. M., Lerner, A. M., Eakin, H. C., y Hernández Aguilar, B. (2019). A standardization process for mental model analysis in socio-ecological systems. *Environmental Modelling & Software*, 112, 108-111. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.11.016>
- Spence, A., Poortinga, W., Butler, C., y Pidgeon, N. F. (2011). Perceptions of climate change and willingness to save energy related to flood experience. *Nature Climate Change*, 1(1), 46-49. <https://doi.org/10.1038/nclimate1059>
- Stan, K., y Sánchez-Azofeifa, A. (2019). Tropical Dry Forest Diversity, Climatic Response, and Resilience in a Changing Climate. *Forests*, 10(5), 443. <https://doi.org/10.3390/f10050443>
- Swai, O. W., Mbwambo, J. S., y Magayane, F. T. (2012). Gender and perception on climate change in Bahi and Kondoa Districts, Dodoma Region, Tanzania. *Journal of African Studies and Development*, 4(9), 218-231. <https://doi.org/10.5897/JASD12.038>
- Tindall, D. B., y Robinson, J. L. (2017). Collective action to save the ancient temperate rainforest: Social networks and environmental activism in Clayoquot Sound. *Ecology and Society*, 22(1), 40. <https://doi.org/10.5751/ES-09042-220140>
- Trejo, I. (2010). Las selvas secas del Pacífico mexicano. En G. Ceballos, L. Martínez, A. García, E. Espinoza, J. Bezaury, y R. Dirzo (Eds.), *Diversidad, amenazas y áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico de México* (1.ª ed., pp. 42-51). Fondo de Cultura Económica.
- Trejo, I., y Dirzo, R. (2000). Deforestation of seasonally dry tropical forest. *Biological Conservation*, 94(2), 133-142. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00188-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00188-3)
- Vásquez-Grandón, A., Donoso, P., y Gerding, V. (2018). Forest Degradation: When Is a Forest Degraded? *Forests*, 9(11), 726. <https://doi.org/10.3390/f9110726>
- Wallhagen, M., Eriksson, O., y Sörqvist, P. (2018). Gender Differences in Environmental Perspectives among Urban Design Professionals. *Buildings*, 8(4), 59. <https://doi.org/10.3390/buildings8040059>
- Wasserman, S., y Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge University Press.
- Whitmarsh, L. (2008). Are flood victims more concerned about climate change than other people? The role of direct experience in risk perception and behavioural response. *Journal of Risk Research*, 11(3), 351-374. <https://doi.org/10.1080/13669870701552235>

Propuesta de investigación para el diseño de estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático: el caso de la región del volcán Iztaccíhuatl, México

VALERIA ROSALES PLATA¹¹

Resumen

El derretimiento de glaciares alpinos ha provocado la redistribución de la vegetación a causa de las variaciones de humedad y temperatura. Adicionalmente, en los últimos años, se ha registrado que los bosques templados y tropicales pueden migrar altitudinalmente a zonas montañosas cuando se presentan condiciones de calentamiento y retracción de los glaciares. Este fenómeno, ocasionado por el cambio climático, permite el aprovechamiento de áreas emergentes que cuentan con condiciones para el desarrollo de vegetación. Lo anterior se propone a través de una estrategia integral de forestación con especies endémicas en el volcán Iztaccíhuatl que contribuya a los procesos de mitigación y adaptación ante el cambio climático al pretender la disminución de la concentración de dióxido de carbono, uno de los gases de efecto invernadero que más contribuye al aumento de la temperatura global y a su vez al derretimiento de los glaciares.

Palabras clave: derretimiento de glaciares; reservorios de carbono; cambio climático; forestación

Abstract

The melting of alpine glaciers has caused the redistribution of vegetation due to variations in humidity and temperature. Additionally, in recent years, it has been recorded that temperate and tropical forests can migrate altitudinally to mountainous areas when conditions of warming and shrinkage of glaciers occur. This phenomenon, posed by climate change, allows the use of emerging areas counting on conditions for the development of vegetation. The aforementioned is proposed through forestry with endemic species in the Iztaccíhuatl volcano that allows its

¹¹ Ingeniera en Sistemas Ambientales, Instituto Politécnico Nacional. Contacto: isa.val.rosales@gmail.com

mitigation and adaptation to climate change by reducing the concentration of carbon dioxide, one of the greenhouse gases that contributes most to the increase in global temperature and in turn to the melting of glaciers.

Keywords: melting of glaciers; carbon stocks; climate change; forestry

Introducción

Gases de efecto invernadero responsables del cambio climático y aumento de temperatura

El cambio climático constituye la mayor amenaza medioambiental a la que se enfrenta la humanidad. Éste se define como las modificaciones termodinámicas que ocurren en la atmósfera a escala global, consecuencia del incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y tiene múltiples impactos negativos en los sistemas físicos, biológicos, humanos y ambientales, además es agravado por las dificultades de evitar el incremento de los GEI en un futuro próximo (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2019). Hoy en día, por ejemplo, se observa el efecto negativo del cambio climático en las variables meteorológicas tales como la temperatura, precipitación, etc., produciendo modificaciones, como aumento del nivel del mar, incremento de fenómenos meteorológicos extremos y el derretimiento de los glaciares, las cuales pueden provocar crisis económicas y sociales a largo plazo (Galeana-Pizaña *et al.*, 2013).

Al aumentar la concentración de los GEI en la atmósfera, ocurre un fenómeno de forzamiento radiativo positivo, pues se reduce la capacidad que tiene la Tierra para remitir la energía recibida del sol y como consecuencia se incrementa la temperatura de la superficie terrestre; esta tendencia de aumento de temperatura se mantendrá si la concentración de los GEI continúa (Martínez-Prado, 2016). Entre ellos, el dióxido de carbono (CO₂) es uno de los más importantes ya que la elevación de la temperatura en los últimos cincuenta años coincide con el aumento en la concentración de este gas en la atmósfera. El incremento de la temperatura terrestre y marina promedio fue de 0.74°C entre el año 1906 y 2005 (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2010).

Deshielo de los glaciares alrededor del mundo como consecuencia del cambio climático

Un aspecto importante a resaltar es que la expansión y la retracción de los glaciares en el mundo obedece a un aumento de la temperatura de una región y la precipitación. Una de las pruebas del calentamiento global durante el siglo XX es el acelerado retroceso de los glaciares en prácticamente todo el mundo, incluidos los de México y otras zonas tropicales. La actividad humana ha aumentado a tal grado que, como consecuencia, todos los glaciares del planeta han reducido su tamaño de manera significativa (Olvera, 2019).

Por ejemplo, en poco menos de 30 años la capa de hielo del Ártico se redujo unos 950,000 km² (cerca del 20% de su superficie). Con respecto a los glaciares de la Antártida, en el año 2002 se fracturó la plataforma llamada “Larsen B” lo cual provocó la fusión de una masa de hielo de 3,240 km² en el mar (SEMARNAT, 2010).

En la actualidad los glaciares están condenados a su extinción a nivel mundial, esto se refleja mayoritariamente en los glaciares de montaña y de manera particular en los que se encuentran en las regiones tropicales (Soto-Molina, 2014).

Glaciares de México y su retroceso

México cuenta con las cumbres de tres montañas que alcanzan una altitud que permite la preservación de hielo. Lo anterior se considera una verdadera rareza debido a su presencia en latitudes subtropicales (latitud 190° norte). Por lo anterior, en nuestro país, se ha desarrollado un especial interés en los últimos años en el retroceso de sus glaciares, pues se tienen tres montañas en el territorio que son sumamente sensibles a los cambios climáticos debido a la inclinación de su pendiente, su tamaño y su posición geográfica. En consecuencia, evaluar los cambios de estos glaciares es vital para reconocer la importancia de los cambios climáticos en el país (López, 2020).

En el centro de México, las montañas que cuentan con glaciares son: el Popocatepetl, a 5,452 m, ya considerado como extinto pues no tiene movimiento (aumento o pérdida del glaciar); el Pico de Orizaba, a 5,675 m, estimando su desaparición en cuestión de 35 años; y el Iztaccíhuatl, a 5,286 m, que todavía cuenta con algunos cuerpos de hielo, aunque se estima podrían declararse todos sus glaciares extintos en cuestión de 10 años debido a su cercanía con la Ciudad de México y Puebla (Cassani, 2018).

Del volcán Iztaccíhuatl y sus glaciares

El volcán Iztaccíhuatl es la tercera cumbre más alta del país, ubicado entre los límites territoriales de los estados de México y Puebla, al norte del Paso de Cortés, abarcando una superficie de 4,671.596 hectáreas y contando con una altura de 5,230 metros sobre el nivel del mar (msnm). Está conformado por praderas alpinas y glaciares, así como pastizales alpinos (integrado por especies de zacatonales) (López, 2020).

En 1958 se reportó que el Iztaccíhuatl contaba con 11 glaciares, de los cuales solo quedan 3: el pecho, el de la panza y el Suroriental, ya que el 22 de abril del 2021 se declaró la desaparición oficial del glaciar “Ayoloco”, el cual se ubicaba en la cumbre del volcán Iztaccíhuatl a 4,626 msnm (Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM], 2021).

Los tres glaciares restantes abarcan 0.2 kilómetros cuadrados a pesar de que en 1850 ocupaban 6.3. En 170 años la montaña ha perdido el 95% de su masa glaciar (Universidad Autónoma Metropolitana [UAM], 2021).

Se estima que para cuando se deshielen todos los glaciares del Iztaccíhuatl se observarán cambios en el clima local por la radiación ocasionada en las masas de roca, a diferencia de la reemisión de energía reflejada gracias a las cubiertas de hielo, por lo que se podría potenciar el efecto de aumento de temperatura, ocasionando un cambio de clima en las mismas cumbres. Dicho efecto es relevante ya que es irreversible, por lo que se plantean la búsqueda de alternativas de adaptación a cambios como la temperatura y la precipitación pluvial, buscando a su vez evitar la erosión y para ello se propone conservar las áreas verdes y realizar actividades de reforestación (López, 2020).

Cambios en el paisaje por los cambios de temperatura

La vegetación está en sintonía con su entorno y por ende cualquier cambio en el clima o en los factores de éste modificará el tipo de especies presentes, su distribución, su crecimiento, etc. Duval *et al.*, (2015) afirman:

A través del estudio de los factores ecológicos que influyen en su distribución, es posible inferir los patrones espaciales de las comunidades vegetales. El clima es el principal factor ecológico a escala regional y su influencia se expresa principalmente en los cambios de la fisionomía de la vegetación y composición florística (p. 35).

Con respecto a los ecosistemas forestales, podrían ocurrir cambios en la distribución de las especies, según diversos escenarios de cambio climático, donde se proyecta que podría disminuir su población drásticamente. En relación con los bosques mesófilos de montaña, debido a que son ecosistemas altamente vulnerables, se proyecta su desplazamiento a mayor altitud en busca de menores temperaturas (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], 2015).

Un ejemplo registrado en Norteamérica ocurrió posterior al retraimiento del casquete de hielo “Laurentino”, ya que las especies de bosques templados migraron hacia el norte. Y en general, se sabe que los bosques templados y tropicales migran altitudinalmente a zonas montañosas cuando se presentan estas condiciones de calentamiento y retracción de los glaciares (Lozano-García, 2004).

Servicios ambientales de los bosques (sumideros de carbono)

La conservación de ecosistemas como los bosques es de suma importancia debido a que la captura de carbono es considerada un servicio ambiental que engloba la captación y filtración de agua, mitigación de los efectos del cambio climático, generación de oxígeno y asimilación de diversos contaminantes, protección de la biodiversidad, retención de suelo, refugio de fauna silvestre, belleza escénica, entre otros (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2015).

Se pueden considerar dos perspectivas en las que se observa la captura de carbono en un ecosistema forestal: la absorción activa del carbono integrada a la biomasa de la nueva vegetación (potenciado por actividades como la forestación, reforestación o la agro silvicultura); y las emisiones evitadas gracias a la vegetación existente (potenciado por actividades como la prevención o la reducción de la deforestación y del cambio de uso de suelo, así como conservación directa de los bosques) (Benjamín y Masera, 2001).

Planteamiento del problema

Debido a actividades antropogénicas tales como la quema de combustibles fósiles, el cambio de uso de suelo y deforestación, se han generado grandes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero, como lo son el dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y metano (CH_4) (Flores-Ramírez *et al.*, 2012).

En los escenarios de referencia en que no se realiza una mitigación adicional se experimentan aumentos en la temperatura media global en superficie en 2100 de 3,7°C a 4,8°C en comparación con los niveles preindustriales (IPCC, 2014).

Una de las consecuencias del calentamiento, tanto local como global, es la afectación a grandes masas de hielo del mundo, por lo que se afirma que los glaciares de todo el mundo se encuentran actualmente en retroceso.

Los glaciares de México también se encuentran amenazados por estos cambios climáticos principalmente por su posición geográfica (López, 2020).

De acuerdo con el Centro de Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (2018), los glaciares del volcán Iztaccíhuatl ya han sufrido reducciones tanto en la superficie como de profundidad. Por lo mismo, se amenaza con la desaparición de los tres glaciares restantes en un futuro cercano (López, 2020).

El cambio de distribución en la vegetación es un fenómeno que se puede suscitar debido a retrocesos del glaciar del volcán Iztaccíhuatl, dado que la distribución tiene una relación directa con su entorno y responde a los cambios en la humedad y/o temperatura (Duval *et al.*, 2015).

Una oportunidad de investigación para planes de desarrollo que podrían proveer espacios ecológicos para los desplazamientos futuros de especies se presenta en las áreas protegidas en las altas montañas, como lo es el volcán Iztaccíhuatl (Young, 2014).

La importancia de dichas investigaciones radica en el papel de los bosques como los ecosistemas terrestres que más carbono atmosférico capturan, por lo que es necesario evaluar la capacidad teórica de captura de carbono de los ecosistemas forestales que podrían aprovechar las áreas emergentes que cuentan con condiciones para el desarrollo de este tipo de vegetación (Galeana-Pizaña *et al.*, 2013).

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014) estima que, combinando estrategias de conservación forestal con proyectos de reforestación en el mundo, los bosques podrían resultar en un sumidero neto de carbono durante los próximos 100 años, permitiendo reducir de 20% a 50% las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Justificación

Es indispensable comenzar a desarrollar medidas integrales de adaptación a las consecuencias del cambio climático, por lo que el objetivo general de este trabajo consiste en el diseño de una estrategia integral de investigación interdisciplinaria con el fin de fortalecer los procesos de mitigación y adaptación en el volcán Iztaccíhuatl. Esto para aportar evidencia en la toma de decisiones que busquen proponer y adaptar planes de manejo con aprovechamiento de las condiciones ambientales emergentes debidas a los cambios de temperatura por el deshielo de los glaciares.

La evaluación de la forestación en el Iztaccíhuatl con especies endémicas ayudaría a la captación de CO₂ como un servicio ambiental de una forma más rápida a lo que acontecería de manera natural. Así pues, se podrá contar con las herramientas suficientes para la estimación de la captura de carbono mediante la forestación con *Pinus hartwegii*; determinando su impacto y eficiencia en la disminución de los problemas ambientales existente por la presencia excesiva de CO₂ en la atmósfera comparado con las condiciones actuales.

Objetivo

Diseñar una estrategia de investigación por medio de una evaluación teórica de la captura de carbono en un escenario de forestación con especies endémicas con el fin de fortalecer los procesos de mitigación y adaptación del volcán Iztaccíhuatl frente al cambio climático.

Metodología

Se propone una investigación interdisciplinaria considerando las áreas emergentes como una oportunidad para una forestación debido a los cambios de temperatura en alta montaña, pues los aumentos de la superficie de ecosistemas forestales pueden fungir como reservorios de carbono debido al almacenamiento del mismo en su biomasa, siendo una medida de adaptación y mitigación del cambio climático.

Se plantea estudiar la viabilidad de una forestación en el Iztaccíhuatl, considerando la probable futura extinción de sus glaciares, con una especie endémica del sitio, analizando la cantidad de carbono que se podría captar a lo largo de los años y comparándolo con la captura realizada por las condiciones actuales de vegetación existente.

Una vez realizado este análisis se podría examinar si en términos de captura de carbono es más eficiente realizar una forestación o dejar intacta la vegetación existente, y considerarlo como medida de adaptación y mitigación al cambio climático según las siguientes definiciones:

Mitigación: Aplicación de políticas y acciones destinadas a reducir las emisiones de las fuentes o mejorar los sumideros de gases y compuestos de efecto invernadero (CONANP, 2015), considerado gracias a los servicios ambientales que proveería la forestación.

Adaptación: Medidas y ajustes en los sistemas humanos o naturales, como respuesta a estímulos climáticos que puedan moderar el daño, o aprovechar sus aspectos benéficos (CONANP, 2015), implícito en el aprovechamiento de las áreas del volcán en las que las condiciones permiten la forestación.

Para ello se propone la siguiente metodología:

Delimitación del área de estudio

Para la delimitación del área de estudio se sugiere la utilización de Sistemas de Información Geográfica y apoyarse de metadatos obtenidos de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) para obtener los datos espaciales de las Áreas Naturales Protegidas Federales de la República Mexicana, como se puede observar en la Figura 1.

Figura 1

Mapa de cartografía temática de áreas naturales protegidas federales de México, mayo 2021.



Nota: Adaptado de *Información espacial de las Áreas Naturales Protegidas*, por CONANP, 2021, Información espacial de las Áreas Naturales Protegidas. CONANP. (http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm)

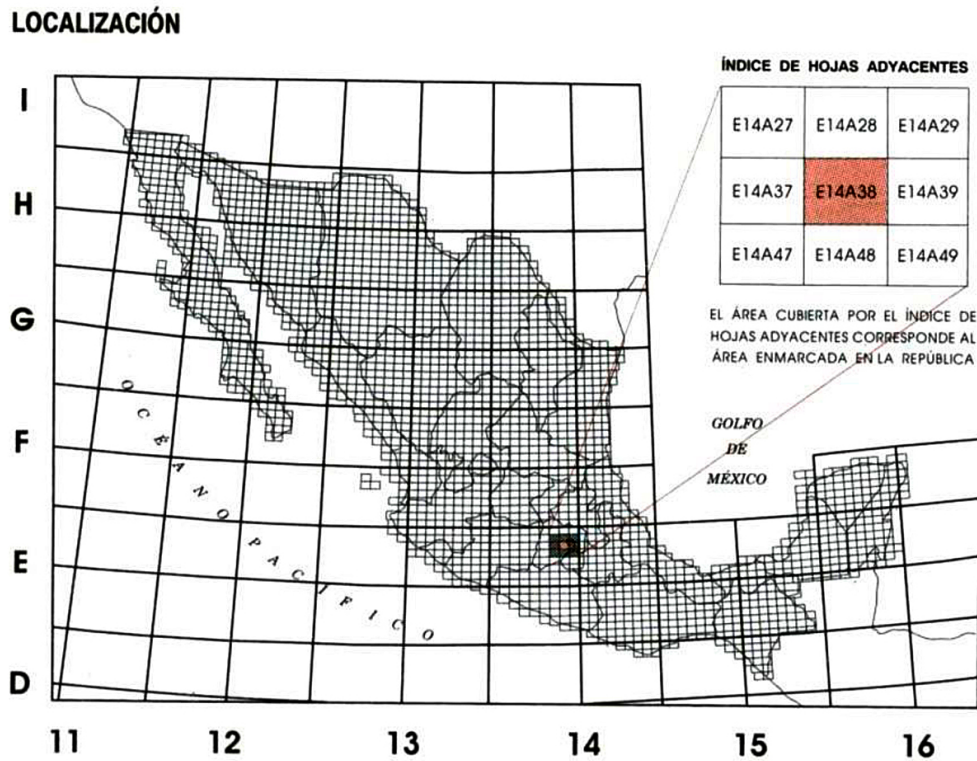
Obtención de datos topográficos del Volcán Iztaccíhuatl

Los datos georreferenciados se pueden obtener de las cartas topográficas relevantes para el área de estudio a partir de las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y de la CONABIO para conocer el número de cartas topográficas necesarias, las cuales se identifican en la Figura 2.

Adicionalmente, capas como de “uso de suelo y vegetación” y de “suelos dominantes de la República Mexicana” se pueden obtener del portal de geoinformación de la CONABIO para su posterior análisis.

Figura 2

Localización de las cartas topográficas correspondientes al Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl



Nota: Adaptado de *Caracterización morfológica y morfométrica de la carta Toluca* (p. 3), por Hernández, S. E, 2014. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. (https://docplayer.es/68835472-Universidad-autonoma-del-estado-de-mexico-facultad-de-geografia-caracterizacion-morfologica-y-morfometrica-de-la-carta%20toluca.html?fbclid=IwAR18MDd_nHQ2UjKC2HM10u1QV4SN7BB6th6JK5gblirrv_BEhHQJf4dWqKs)

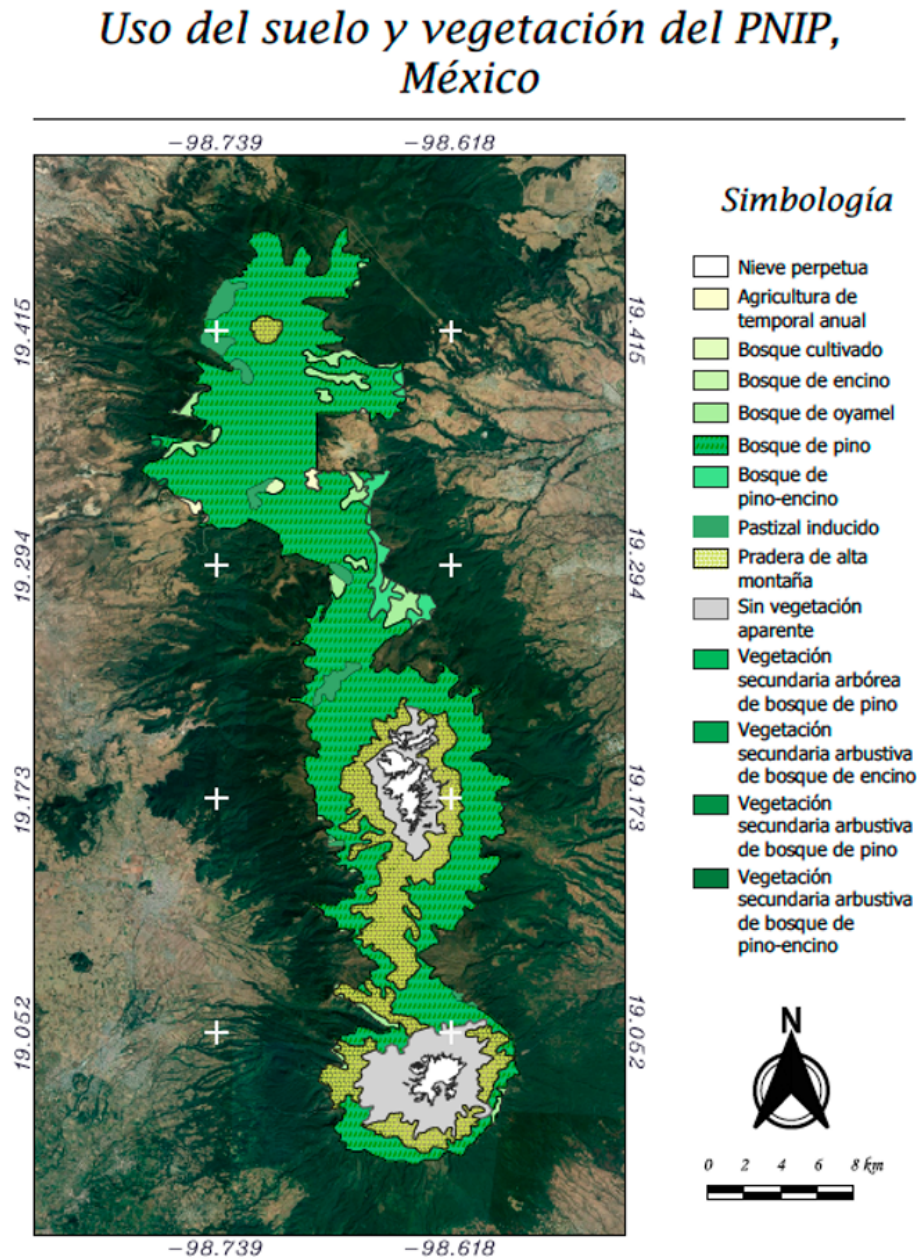
Desarrollo de mapas y análisis geoespacial para la identificación de áreas de oportunidad

Tras la obtención de los datos necesarios se pueden utilizar los Sistemas de Información Geográfica y herramientas propias del programa como la unión o corte de capas temáticas, como se puede observar en la Figura 3, la cual muestra la distribución de vegetación dominante en el Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl.

Una vez obtenidos los mapas y realizado un análisis geoespacial se lograrían identificar las áreas en las que se es viable la realización de una forestación dada la naturaleza del lugar de estudio, como se puede identificar en la Figura 4 que representa la distribución altitudinal de la vegetación y el área tentativa donde se planea realizar la forestación.

Figura 3

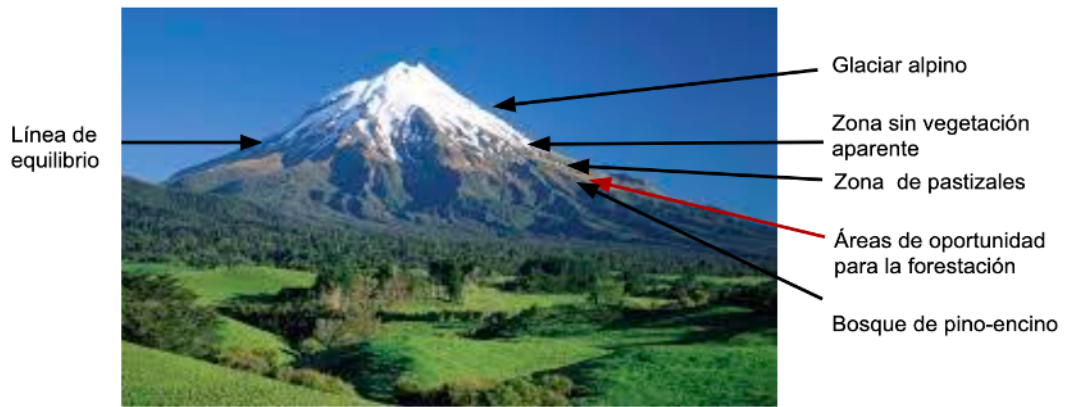
Mapa de la distribución de vegetación dominante en el Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl



Nota: Elaboración propia con información de Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VI (continuo nacional), por Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 2017, Portal de Geoinformación 2021 - Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>)

Figura 4

Esquematación de la distribución altitudinal de la vegetación



Nota: Elaboración propia con información de *Montana* [fotografía], de Travels Finders, s.f. (<http://travelsfinders.com/montana-2.html>)

Propuesta de la especie para la forestación

Como una propuesta inicial se sugiere la especie *Pinus hartwegii* debido a que es un pino representativo del Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl (Figura 5). Es la especie de pino que más tolera las bajas temperaturas, así como nevadas fuertes pues el hielo y nieve no afecta su crecimiento a excepción del rompimiento de ramas debido al peso de la nieve (Villanueva-Díaz, *et al.*, 2015).

Figura 5

*Bosque de *Pinus hartwegii* semidenso, Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl*



Nota: Adaptado de *Evaluación de zonas vulnerables a incendios forestales en bosques de alta montaña del Estado de México*, por Castañeda-Rojas, M. F., 2013. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca. (<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/64378/MCARN%20Mario%20Fermin%20Casta%20C3%20B1eda%20Rojas.pdf?sequence=1&fbclid=IwAR3Rz4fxzWBxRjDI5eRNqZmgQL96IIXVI7u3fU5dQURbrhHvs94vlMvZDIM>)

También conocido como pino de altas montañas se distribuye generalmente en una altitud entre los 3,200 y 4,100 metros, los individuos en su etapa adulta llegan a medir 25 m de alto y 70 cm de diámetro (CONANP, 2013).

Esta especie de pinos disminuye los efectos de la contaminación ambiental ya que funcionan como reguladores del ciclo hidrológico debido al deshielo de los glaciares y como consecuencia ayudan al abastecimiento de agua en los mantos freáticos (Iglesias *et al.*, 2012).

Adicionalmente, se considera debido a que diversos escenarios de cambio climático estiman que múltiples especies de pinos y encinos localizados en climas fríos o semifríos y húmedos o subhúmedos disminuirán su área de distribución. En el caso específico de *Pinus hartwegii*, el escenario de cambio climático global indica que se encuentra seriamente deteriorada la población. En México, distintos Parques Nacionales reportan una disminución significativa. Las principales razones de este fenómeno se deben a prácticas inapropiadas en el manejo y la extracción forestal. La bibliografía y los modelos de distribución de la especie indican que hoy en día la deforestación de *Pinus hartwegii* persiste a ritmos muy elevados, especialmente en México, pues nuestro país se ubica entre los primeros en el planeta donde se observa la rápida desaparición de este ejemplar (Villanueva-Díaz, *et al.*, 2015).

Estimación de la cantidad de captación de CO₂ en la forestación y la cantidad de captura por la vegetación actual para su comparación

Una vez elegida la especie para la forestación se sugiere realizar un modelo de plantación que permita estimar la cantidad de ejemplares de *Pinus hartwegii* que se podrían colocar en el área asignada.

Por otro lado, realizando una investigación bibliográfica se lograría identificar la vegetación existente en las áreas seleccionadas para posteriormente reconocer la cantidad de carbono que almacena y comparar dichos datos con la propuesta de forestación.

Beneficios esperados

La metodología descrita anteriormente permitiría aprovechar las inevitables consecuencias del avance del cambio climático y el aumento de las temperaturas para fungir como un reservorio de captura de un gas de efecto invernadero cuyo exceso en la atmósfera representa serios efectos a largo plazo. La comparación de la captura de carbono en el escenario de forestación contra la vegetación existente actualmente permitirá concluir si, desde el enfoque de implementación de sumideros de carbono, es eficiente realizar esta medida de adaptación y mitigación al cambio climático o es preferible otras alternativas, dejando la vegetación existente y la naturaleza de su distribución como se encuentra actualmente en el volcán Iztaccíhuatl.

En el caso de que el reservorio fuese una opción viable, se esperaría observar la adaptación de algunas de las zonas más afectadas por el cambio climático y convertirlas en territorios que brinden servicios ecológicos y activamente participen en contrarrestar los efectos adversos a la crisis climática.

Modelación del sistema

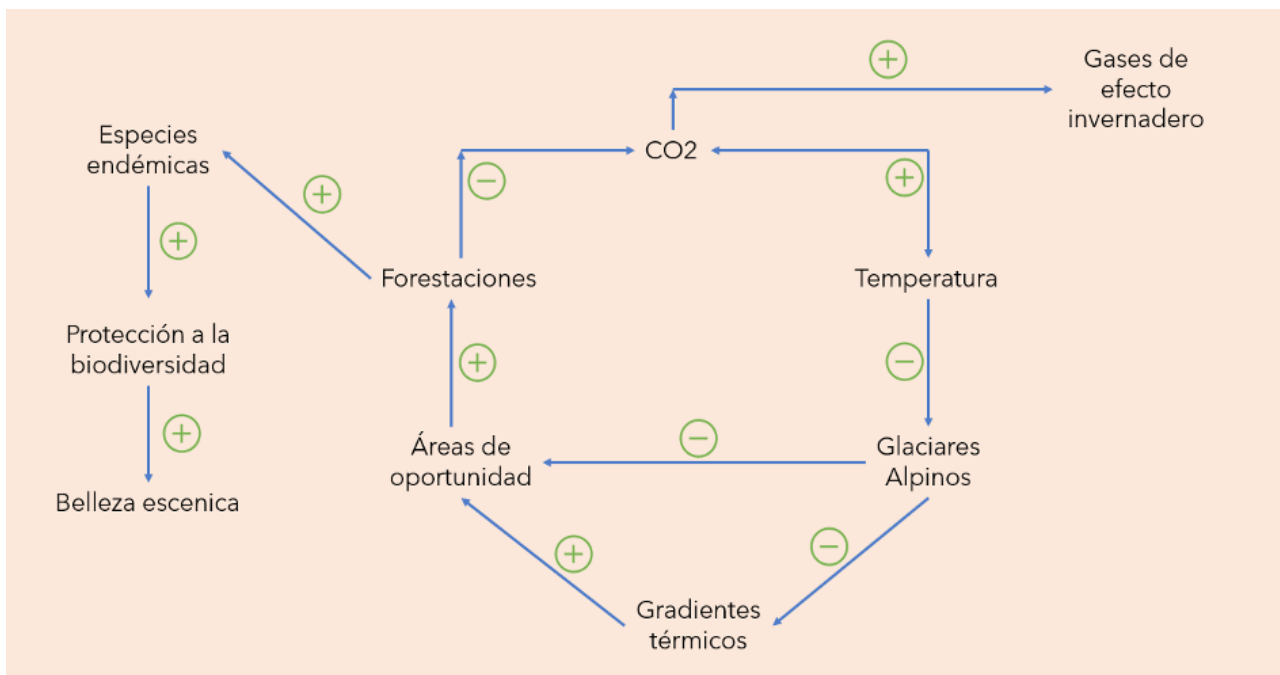
Para realizar un análisis de la presente propuesta de adaptación y mitigación al cambio climático se busca utilizar un enfoque integrador que tome en cuenta la relación entre los elementos que conforman el sistema (Espinoza, 2011). Considerando un enfoque holístico mediante el enfoque de sistemas nos permite analizar las relaciones e interacciones existentes entre las partes del objeto de nuestro estudio, recurriendo al uso de modelos como los de “caja blanca” en los que se ejemplifican las variables y las interacciones entre sí, como se observa en la Figura 6.

Se define el sistema como un conjunto de elementos y las interrelaciones entre ellos, en el que interesa considerar fundamentalmente el comportamiento global. Las relaciones que hay entre las distintas variables se pueden interpretar como positivas (o directas) y negativas (o inversas), siendo las positivas las que mantienen una relación directamente proporcional (si una aumenta, la otra aumentará o, en su caso, si una disminuye la otra disminuirá). Por el contrario, las relaciones negativas suceden cuando una de las variables aumenta y la otra disminuye (Espinoza, 2011).

Por ende, en el caso de estudio se entiende que: a mayor concentración de CO₂ mayor será la cantidad de gases de efecto invernadero y por ende mayor será la temperatura a nivel global. A su vez a mayor temperatura, disminuirán los glaciares alpinos y como consecuencia se tendrían mayores gradientes térmicos en sistemas montañosos. Como resultado se contaría con más áreas de oportunidad para realizar actividades de forestación, y teniendo más condiciones óptimas menor sería la cantidad de CO₂ en la atmósfera por acciones de reforestación. En conclusión, mientras mayor sea la cantidad de forestaciones, se contaría con más especies endémicas, se enriquecería la protección a la biodiversidad, y se aumentaría la belleza escénica.

Figura 6

Modelación del sistema



Sugerencias

Con el fin de elaborar una estimación del potencial de captura de carbono se deberían considerar distintos componentes del ecosistema, debido a que la dinámica del ciclo de carbono es muy compleja. Analizar conjuntamente la vegetación, el suelo y los productos forestales permite obtener la dinámica de captura de carbono de una manera más precisa utilizando modelos de simulación.

Por ende, se puede observar este trabajo como una primera propuesta hacia la investigación ecológica de poblaciones pues más allá de abogar por una medida de forestación o mejorar la gestión de la administración de Áreas Naturales Protegidas, se precisa enfatizar la necesidad de adentrarse a un escenario con diversas interacciones ecológicas, sociales y económicas.

Adicionalmente, para obtener datos más precisos, se deberían realizar estudios que tomen en cuenta la estructura dimensional y espacial de los ecosistemas (teniendo una visión global del manejo forestal) (Aguirre-Calderón, 2015), así como ocupar los modelos de fijación de carbono como CO₂ FIX (desarrollado originalmente en el Instituto de Investigaciones Forestales y de Ecología Urbana de Holanda) el cual se basa en la simulación del ciclo de carbono para rodales forestales permitiendo calcular el carbono total capturado a nivel de una plantación (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC], 2007).

La utilización de Modelos Digitales de Elevación permitiría generar mapas de altitudes, exposición y pendientes para especificar la distribución natural de las especies forestales considerando las curvas de nivel del área de interés (CONAFOR, 2016).

En el Programa de Manejo de Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatepetl (PNIP) (CONANP, 2013) se especifica la necesidad de involucrar diversas áreas de saber, por lo que si se busca implementar la medida de adaptación y mitigación al cambio climático que se propone en éste trabajo se deben considerar factores del PNIP como: las actividades altamente productivas, mantenimiento de los servicios ecosistémicos, prevención y combate de incendios forestales, actividades alternativas y tradicionales, educación para la conservación, fomento a la comercialización y mercados, fomento a la investigación y generación de conocimiento, reforestación y/o restauración de ecosistemas, manejo y uso sustentable de recursos forestales, entre otros.

Por otro lado, en el manual de diseño e implementación de medidas de adaptación al cambio climático en México (INECC, 2018) las características deseables de las medidas de adaptación al cambio climático son las siguientes:

- Factible en términos políticos, financieros, legales, técnicos o tecnológicos, sociales, institucionales y regulatorios
- Evaluable para analizar los avances y hacer monitoreo y evaluación
- Sinérgico para potenciar los beneficios o impactos positivos que permitan mitigar GEI
- Que tenga cobeneficios para favorecer impactos benéficos, directos e indirectos, entre aspectos biofísicos, sociales y económicos
- Equitativo para disminuir brechas de desigualdad

- Reversible para privilegiar acciones en las que sea posible regresar a un estado anterior
- Incluyente para considerar conocimientos tradicionales y diversos actores clave
- Alineados al marco legal institucional y administrativo que corresponda
- Que tenga credibilidad y cuente con un sustento científico y aceptación cultural y social
- No arrepentimiento: que no tenga repercusiones negativas en otro lugar
- Presupuestadas identificando fuentes de financiamiento (p.03)

Las acciones del PNIP son hasta cierto punto limitadas, debido principalmente a la falta de presupuesto. Sin embargo, se realizan gestiones con instituciones y/o dependencias de los tres niveles de gobierno y con la iniciativa privada para cumplir con actividades de educación ambiental, protección contra incendios forestales, atención al turismo y prevención de actividades ilegales, entre otras. Por ello, para poder fortalecer las actividades anteriores y lograr un manejo más integral del área, se requiere de un mayor presupuesto.

Finalmente, se deberán realizar distintos estudios a profundidad referentes a otros campos de aplicación previos a la implementación de la forestación. Tales estudios podrían incluir, entre otros, al área de biología con el fin de estudiar nichos ecológicos; geología con el fin de estudiar corrientes y flujos de agua; e ingeniería forestal con el fin de homologar los datos de captura de carbono de los pinos en comparación con pastizales. Para realizar lo anterior, se debería abordar al ecosistema desde una perspectiva interdisciplinaria que englobe todos los factores bióticos y abióticos que interactúan en él y de esa manera diseñar estrategias de adaptación y mitigación que beneficien de una manera holística al sistema.

Referencias

- Aguirre-Calderón, O. A. (2015). Manejo Forestal en el Siglo XXI. *Madera y Bosques*, 21 (No. spe.), 17-28. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000400002
- Benjamín, J. A., y Masera, O. (2001). Captura de Carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12. <https://www.redalyc.org/pdf/617/61770102.pdf>
- Cassani, E. (18 de abril de 2018). El futuro de los glaciares. Entrevista con Hugo Delgado. *Divulgación Científica UNAM*. <http://ciencia.unam.mx/leer/733/el-futuro-de-los-glaciares-entrevista-con-hugo-delgado>
- Castañeda-Rojas, M. F. (2013). *Evaluación de zonas vulnerables a incendios forestales en bosques de alta montaña del Estado de México* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México] <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/64378/MCARN%20Mario%20Fermin%20Casta%20C3%B1eda%20Rojas.pdf?sequence=1&fbclid=IwAR3Rz4fxzWBxRjDI5eRNqZmgQL96IIXVI7u3fU5dQURbrhHvs94vIMvZDIM>
- Centro de Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente. (2018). *Programa de Educación de Cambio Climático*. Centro de Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente <http://centromariomolina.org/libro/libros/Librodesecundaria/4/>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2013). *Programa de Manejo Parque Nacional Iztaccíhuatl Popocatepetl*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/87_libro_pm.pdf
- _____. (2015). *Estrategia de cambio climático desde las áreas naturales protegidas: Una convocatoria para la resiliencia de México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/246611/ECCAP-2015.pdf>
- _____. (2021). *Información espacial de las Áreas Naturales* http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/info_shape.htm
- Comisión Nacional Forestal. (24 de febrero de 2015). *Servicios ambientales*. <https://www.gob.mx/conafor/documentos/servicios-ambientales-27810>

- _____. (2016). *Manual de zonificación ecológica de especies forestales y aplicación de modelos de simulación del efecto del cambio climático*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/3230Manual%20de%20Zonificaci%C3%B3n%20ecol%C3%B3gica%20de%20especies%20forestales.pdf?fbclid=IwAR3M3uenUUGebsn85S4MLRPAaTCZsMwujeB76Hj9Mkb-bIDFTjVQO43ZGIs>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2017). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VI (continuo nacional)*. Portal de Geoinformación 2021 - Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- Duval, V. S., Benedetti, G. M., y Campo, A. M. (2015). Relación clima-vegetación: adaptaciones de la comunidad del jarillal al clima semiárido, Parque Nacional Lihué Calel, provincia de La Pampa, Argentina. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, (88), 33-44. doi : 10.14350/ig.48033.
- Espinoza, C. M. (2011). *Sistema problemático. Diseñando líneas de investigación*. Soluciones Gráfica SAC. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1147>
- Flores-Ramírez, N. F., Mendizábal-Hernández, L. C. y Alba-Landa, J. (2012). Potencial de captura y almacenamiento de CO₂ en el Valle de Perote. Estudio de caso: *Pinus cembroides* subsp. *Orizabensis* DK. Bailey. *Foresta Veracruzana*, 14(1), 17-22. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49724122003.pdf>
- Galeana-Pizaña, J. M., Ordóñez-Díaz, J. A. B. y Corona-Romero, N. (2013). Estimación del contenido y captura potencial de carbono, su valor económico; en la cuenca del río Magdalena, D.F. México., *Madera y bosque*, 19(1), 53- 69. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712013000100005
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). *Contribución del Grupo de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. (Informe de síntesis). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio https://archive.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/wg3/WG3AR5_SPM_brochure_es.pdf?fbclid=IwAR2YHu_ja_84VA7eQNpHn6WpXPVxZWa9HWGu2563SLW96cxc3mZAdLdd0
- _____. (2019). *Calentamiento global de 1.5°C: Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza*. (Informe especial). Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_es.pdf
- Hernández, S. E. (2014). *Caracterización morfológica y morfométrica de la carta Toluca*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México]. https://docplayer.es/68835472-Universidad-autonoma-del-estado-de-mexico-facultad-de-geografia-caracterizacion-morfologica-y-morfometrica-de-la-carta%20toluca.html?fbclid=IwAR18MDd_nHQ2UjKC2HM10u1QV4SN7BB6th6JK5gbIirrv_BEhHQJf4dWqKs
- Iglesias, L. G., Solís-Ramos, L. Y. y Viveros-Viveros, H. (2012). Variación morfométrica en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. del estado de Veracruz. *Revista internacional de botánica experimental international journal of experimental botany*, 81, 239-246. <http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol81/35-IGLESIAS.pdf>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (15 de noviembre de 2007). *IV El Modelo CO2FIX*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/296/cap4.html>
- _____. (2018). *Diseño e implementación de medidas de adaptación al cambio climático en México. Resumen Informativo*. <https://cambioclimatico.gob.mx/sexta-comunicacion/material/adaptacion.pdf>

- López, R. (30 de enero de 2020). El cambio climático amenaza a los glaciares mexicanos. *Gaceta UNAM*. <https://www.gaceta.unam.mx/glaciares-mexicanos-a-punto-de-extinguirse/>
- Lozano-García, M. S (2004). Evidencia de cambio climático: cambios en el pasaje. En Martínez y Fernández-Bremauntz. (Ed.), *Cambio climático: una visión desde México* (Primera edición, pp. 70;74). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-\(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf](http://www.data.sedema.cdmx.gob.mx/cambioclimaticocdmx/images/biblioteca_cc/Cambio-climatico-una-vision-desde-Mexico-(Julia-Martinez-y-Adrian-Fernandez-Bremauntz-compilado.pdf)
- Martínez-Prado, M. A. (2016). Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero para el estado de Durango, México. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 15(2), 575-601. <https://www.redalyc.org/pdf/620/62046829023.pdf>
- Olvera, L. (22 de agosto de 2019) Sufre la Tierra retroceso de glaciares. *Gaceta UNAM*. <https://www.gaceta.unam.mx/sufre-la-tierra-retroceso-de-glaciares/>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2010). *Guía didáctica. Cambio Climático: ciencia, evidencia y acciones* [Archivo PDF]. https://www.sema.gob.mx/descargas/manuales/CambioClimatico_SEMARNAT.pdf
- Soto-Molina, B., H. (2014). *Glaciar norte del Citlaltépetl y su relevancia hidrológica para las localidades de la parte alta de la Cuenca Jamapa- Cotaxtla*. [Tesis de Maestría, Facultad de ciencias biológicas y agropecuarias. Tuxpan, Veracruz, México] https://www.uv.mx/pozarica/mca/files/2019/05/G02_VICTOR-HUGO-SOTO-MOLINA.pdf
- Travels Finders. (s.f.). *MONTANA [Imagen]*. TravelsFinders.Com. <http://travelsfinders.com/montana-2.html>
- Universidad Autónoma Metropolitana. (24 de mayo de 2021). *La agonía de los últimos glaciares de México*. <http://www.cua.uam.mx/news/miscelanea/la-agonia-de-los-ultimos-glaciares-de-mexico>
- Universidad Nacional Autónoma de México. (22 de abril de 2021). Declaran desaparición del glaciar Ayoloco, en el Iztaccíhuatl. *Boletín UNA-DGCS-349*. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2021_349.html
- Villanueva-Díaz, J., Cerano-Paredes, J., Vázquez-Selem, L., Fulé, P. Z., Yocom, L.L., Franco-Ramos, O., Ruiz-Corral, J. A. (2015). Red dendrocronológica del pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. *Investigaciones Geográficas*, 86, 5-14. doi: 10.14350/rig.42003
- Young, K. R., (2014). Ecología de los cambios de cobertura del paisaje de glaciares de montañas tropicales. *Revista Peruana de la Biología*, 21(3), 259-270. Doi: 10.15381/rpb.v21i3.10900

Transición energética: Clave para abatir el cambio climático y promover el desarrollo. El caso de México

AZUCENA LIBERTAD GARCÍA CISNEROS¹²

Resumen

El cambio climático representa un riesgo económico cuyos impactos se calculan en la pérdida de al menos un 5% del Producto Interno Bruto (PIB) global anual, de forma indefinida (Stern, 2006). Aproximadamente dos terceras partes de las emisiones de gases de efecto invernadero mundial provienen del sector energético (DDPP Deep, s.f), el cual se ha convertido en el sector estratégico en la política climática mundial. Si bien el sector transita hacia nuevas formas de generar energía, el cambio es lento y la tendencia de generación y consumo de energía sigue inclinada hacia las energías fósiles. Las agencias internacionales han identificado cinco acciones estratégicas para promover la transición energética (transformar el suministro de energía, acceso a la energía, asequibilidad de la energía y mejorar la eficiencia energética y gestión de la demanda), sin embargo, estas estrategias se ven afectadas por la existencia y alineación de las políticas energéticas de los países, y por su infraestructura energética nacional en términos físicos y organizacionales. México es un caso que cuenta con problemas de desalineación de políticas y estrategias, y limitada infraestructura para promover la expansión de las energías renovables.

Palabras clave: Transición energética; trilema energético; Política energética; Cambio climático.

Abstract

Climate change represents an economic risk in which impacts are calculated in the loss of at least 5% of global annual Gross Domestic Product (GDP), indefinitely (Stern, 2006). Approximately two thirds of the global greenhouse gas emissions come from the energy sector (DDPP Deep, 2020), which has become the strategic area in global climate policy. Although such sector is moving towards new and cleaner ways of generating energy, the change is slow, and the trend of power generation and consumption continues to lean towards fossil fuels. International agencies have identified five strategic actions to promote the energy transition (transform energy supply, energy access, affordability and improve energy efficiency and demand management), however, these strategies are affected by the existence

¹² Ingeniera en Desarrollo Sustentable. Maestrante de Economía, Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México. Contacto: suligaci@gmail.com

and alignment of the countries' energy policies, and by their national energy infrastructure in terms of physical and organizational infrastructure. In the case of Mexico, there are misalignment issues of policies and strategies, and limited infrastructure to promote the expansion of renewable energy.

Keywords: Energy transition; Energy trilemma; Energy politics; Climate change.

Introducción

Cuando nos referimos a estudios de cambio climático, por lo general, lo relacionamos con análisis técnicos enfocados específicamente al ámbito ambiental y, en algunos casos, al ámbito social; sin embargo, de solo enfocarnos en estos impactos, dejaríamos de lado un elemento importante: todos los países poseen recursos limitados que deben de ser distribuidos de forma estratégica y económica.

Las teorías del crecimiento y desarrollo¹³ han evolucionado a lo largo de la historia de la ciencia económica y la comprensión del eje central de cada una de ellas resulta relevante para comprender el trasfondo de las decisiones políticas sociales, ambientales y productivas de los países.

De forma concisa, explicaremos algunos enfoques relevantes para comprender la relación del medio ambiente con los sistemas económicos mundiales (Valcárcel, 2006):

Tras la culminación de la segunda guerra mundial y el comienzo de la guerra fría (1945-1965), surge la teoría de la modernización como una forma de paliar las condiciones sociales e históricas del momento. Este enfoque pone como eje central la acumulación de capitales para promover el desarrollo,¹⁴ y este último se visualiza como un instrumento y medio para generar el crecimiento económico de los países. Esta teoría se caracteriza por considerar que existe un único modelo de desarrollo, el cual es direccional, acumulativo e independiente del contexto histórico de cada país.

En el periodo de 1965-1980, periodo entre guerrillas, surge una nueva corriente que plantea la teoría de la dependencia. A través de esta teoría se pretende explicar el atraso de ciertos países (tercermundistas o subdesarrollados) con relación a los países desarrollados. Desde esta corriente, el contexto histórico de cada país es determinante para el establecimiento de relaciones de dominación que permiten o limitan el desarrollo industrial de los países. De esta forma, el desarrollo y el subdesarrollo son elementos interdependientes de un sistema único en el que un país es dominante (también denominado centro) y otro es dependiente (también denominado periferia).

Las corrientes expuestas asumen implícitamente que el desarrollo industrial es relevante y que sus insumos (recursos naturales) son inagotables, sin embargo, esta asunción comenzó a ser criticada a partir de 1970.

En 1972, en la primera Cumbre de la Tierra se comienza a cuestionar lo inagotable de los recursos y el lucro como fin supremo de los agentes económicos. En 1973 surge la corriente del *ecodesarrollo*, la cual busca armonizar la pertinencia social y equidad de las soluciones de desarrollo, la prudencia ecológica, la eficiencia económica, la dimensión cultural y la dimensión territorial. Adicionalmente, en 1975, nace la corriente del *Otro desarrollo*, la cual establece que, a diferencia de las corrientes previas, el desarrollo es generado para la satisfacción de las necesidades, es endógeno y autónomo, está en armonía con el medio ambiente y se basa en transformaciones estructurales.

13 No existe una definición única para las teorías de crecimiento y desarrollo debido a que se encuentran en constante evolución. Para efectos del presente trabajo las definiremos como ramas de la economía que pretenden comprender las condiciones y estructuras económicas que permiten a los países satisfacer las necesidades de sus habitantes y elevar sus niveles de renta y de producción (Márquez Ortiz *et al.* 2020).

14 La acumulación de capital se representaba principalmente a través de la ampliación del sector industrial y era medido a través del Producto Interno Bruto (PIB).

Finalmente, en 1987, existe un cambio importante en el paradigma económico del desarrollo. Tras la publicación del informe *Nuestro Futuro Común*, comienza una transición del concepto de modelo único para para alcanzar el crecimiento económico a uno en el que la satisfacción de necesidades y la preservación del medio ambiente son relevantes. Este documento establece un nuevo esquema de desarrollo: el sustentable, el cual es definido como un desarrollo que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro de satisfacer sus propias necesidades (Brundtland, 1987). Este enfoque buscaba atender tanto las demandas de protección del medio ambiente como las de asegurar el desarrollo de los países con menor nivel de desarrollo. De esta forma, se insta la necesidad de integrar las políticas ambientales y las estrategias de desarrollo tanto social como económico.

Desde esta visualización, los estudios de cambio climático deben considerar no solo los impactos ambientales y sociales, sino también los económicos.

El presente capítulo tiene por objetivo responder a las siguientes preguntas de investigación ¿qué impacto tiene el cambio climático en la economía y el desarrollo?, ¿qué relevancia tiene el sector energético en el combate al cambio climático?, ¿es posible realizar una transición energética más limpia, más asequible y segura?, ¿existen las condiciones para que el sector energético en México logre una transición energética? Para hacer un análisis integral, se utiliza en este estudio el enfoque del Índice del Trilema Energético de la WEC.

Este capítulo se divide en seis secciones, la primera tiene como objetivo presentar los impactos económicos que implica el cambio climático y la importancia del sector energético para la mitigación del cambio climático. En la segunda, hablaremos de la relevancia del sector energético para la economía mundial y la necesidad de pensar en una transición energética. Posteriormente, explicaremos las tendencias del sector energético mundial y más adelante conoceremos el “Trilema energético”, una propuesta de transición compuesta por tres elementos que, de cumplirse, permitirían a los países ser competitivos y prósperos. Después hablaremos del contexto mexicano de las energías y finalmente concluimos.

Los impactos económicos del cambio climático

El IPCC define al cambio climático como la variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo. Este puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo (IPCC, 2013).

Si bien, estas modificaciones en el clima parecieran pasar desapercibidas tienen un efecto relevante en el medio ambiente: aumento de temperatura, olas de calor y sequías, cambio de ritmo de caudales de ríos, cambios en los patrones de precipitación, aumento en la intensidad de los huracanes y otros eventos extremos, deshielo del ártico y aumento del nivel del mar, inundaciones entre otros (NASA, s.f.). Si bien es claro la existencia de un impacto en los medios de vida ¿cuánto representa esta afectación? Y ¿es económicamente relevante como para invertir en su solución?

En 2006, se publicó el informe de Stern sobre la Economía del Cambio Climático, el cual cuantifica, en términos monetarios, los impactos causados por el cambio climático dadas las afectaciones en los elementos básicos de la vida de personas de todas partes del mundo (entre ellas el acceso al agua, la producción de alimentos, la sanidad, y el medio ambiente en general). El informe estima que cientos de millones de personas podrían sufrir hambre, escasez de agua e inundaciones costeras a medida que la temperatura promedio del planeta aumenta.

De acuerdo con Stern (2006), los costes globales y los riesgos del cambio climático se estiman en la pérdida de

al menos un 5% del Producto Interno Bruto (PIB) global anual, de forma indefinida; y si se amplía la diversidad de riesgos e impactos, los daños estimados podrían alcanzar un 20% o más.¹⁵ Por otro lado, también estima que, de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, la pérdida mundial del PIB podría reducirse situándose en torno al 1% anual.

El estudio confirma que las acciones de mitigación requieren de atención inmediata, puesto que las consecuencias de nuestras acciones presentes sobre los futuros que incluyen cambios por efectos climáticos se traducen en largos tiempos de espera. En tiempo, las acciones actuales tendrán un impacto limitado sobre el clima de los próximos 40 o 50 años, y en este mismo sentido, las medidas que se adopten en los próximos 10 o 20 años influirán profundamente sobre el clima de la segunda mitad del siglo actual y del siguiente (Stern, 2006). Finalmente, advierte que los beneficios de la adopción de medidas prontas y firmes sobre el cambio climático superarán con creces los costes estimados.

En este contexto, el estudio y análisis del crecimiento y el desarrollo económico en el corto y mediano plazo demanda la incorporación de una visión que considere al medio ambiente en el que nos desarrollamos como un elemento dinámico, y no dado por sentado, en la reproducción de la actividad económica. Es decir, *se requiere incorporar un enfoque de sustentabilidad al desarrollo*.

Bajo este contexto, la mitigación del cambio climático se presenta como una solución para reducir los impactos económicos de los países.¹⁶ Por lo que, la identificación y abatimiento de las principales fuentes de generación de CO₂ representan una solución mundial de gran impacto económico.

La relevancia de la energía para la economía mundial y necesidad de la transición

A nivel mundial, la energía es uno de los insumos más importantes para el desarrollo económico. Ésta es responsable de al menos la mitad del crecimiento industrial en la economía moderna, esto sin considerar que muchas de las actividades de producción y de consumo dependen de ella (Asghar, 2008). En el caso de los países en desarrollo, se considera que el acceso a la energía permite aliviar la pobreza, debido a que el suministro de energía moderna facilita la mejora de las condiciones de vida humana y la productividad de los sectores (Thiam, 2011).

Si bien la dinámica exacta de la relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico es compleja y depende de cada contexto (Ritchie y Roser, 2019), por lo general se asume que el incremento del consumo de energía en una región, en la medida en que permite la reducción de los niveles de pobreza, podría estimular el crecimiento de la entidad. No obstante, la generación de energía presenta importantes externalidades relevantes.

En 2010, el proyecto Rutas de Descarbonización Profunda (*DDPP Deep* por sus siglas en inglés) identificó que el 74% del CO₂ global emitido de ese mismo año estaba relacionado a la industria de la energía,¹⁷ presentando una tendencia similar en los años previos a la medición. De esta forma, el abatimiento de las emisiones provocadas en el sector energético representa una solución climática de alto impacto (*DDPP Deep*, s.f.).

Considerando la relevancia de la energía en la economía mundial y el desarrollo económico, *nos encontramos*

15 Si consideramos que el PIB mundial en 2018 fue de 85.91 billones de dólares (World Bank, 2020), las pérdidas mínimas causadas por el cambio climático (el 5% de pérdida) corresponden a 429.55 mil millones de dólares. En el caso de la ampliación de riesgo e impactos, las pérdidas corresponden a 1.7182 billones de dólares.

16 Considerando la mitigación del cambio climático como las iniciativas para reducir o prevenir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) o para potenciar su eliminación de la atmósfera mediante sumideros (Iniciativa UNA ONU: Asociación para el aprendizaje sobre el Cambio Climático, 2014).

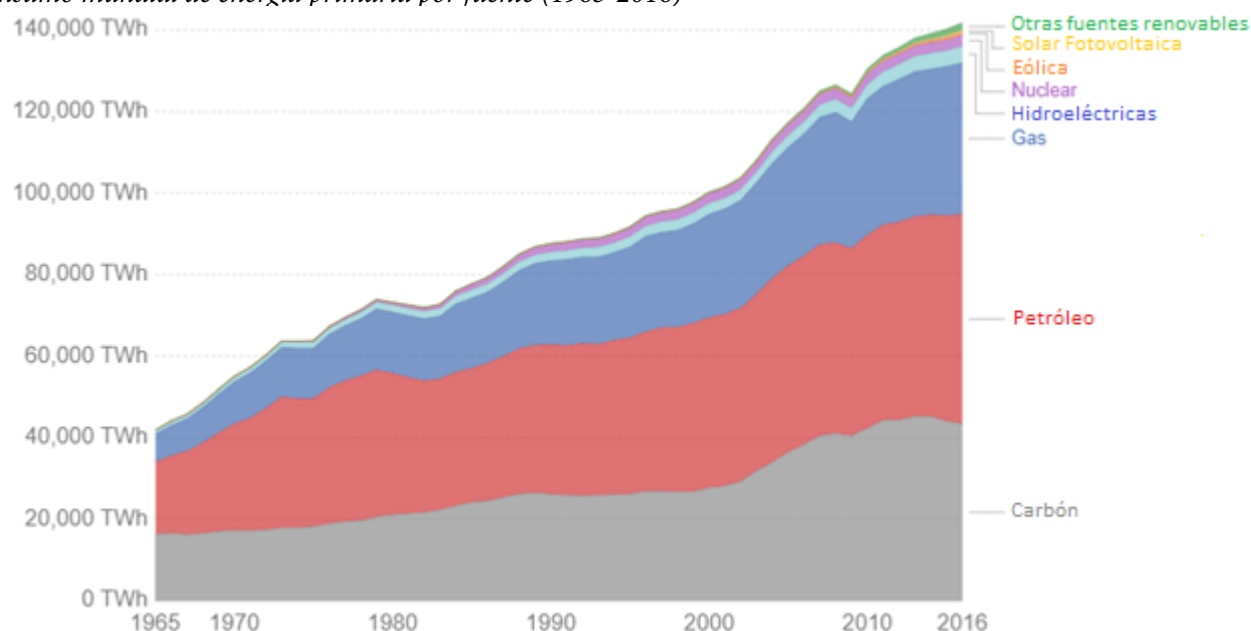
17 La alta concentración de gases de efecto invernadero proveniente del sector energético está ligada a la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) empleados para las actividades de calefacción, electricidad, transporte e industria.

ante la necesidad de modificar el modelo energético que empleamos por razones socioeconómicas, medioambientales y estratégicas.

El estado del sector energético a nivel mundial

El sector energético en el mundo muestra dos situaciones que demandan nuevas formas de garantizar la provisión de energía por parte del sector energético: 1) la tendencia del consumo energético es creciente y 2) la composición del sistema energético,¹⁸ la cual, pese a presentar una tendencia de transición a energías renovables, está ampliamente basada en combustibles fósiles (Figura 1) que como se sabe son finitos, son responsables de gran parte de las emisiones de GEI y además, su producción, transformación y distribución implica diversos impactos ambientales.

Figura 1
Consumo mundial de energía primaria por fuente (1965-2016)



Nota: Consumo de energía primaria por fuente en las regiones del mundo, medido en TWh. No incluye la energía procedente de la biomasa tradicional. Tomado de *Energy Production & Changing Energy Sources*, por Ritchie, H., y Roser, M., 2019, [Traducción propia], (<https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>).

Asimismo, como se indica en el *Reporte del Estado Global de la Energía y el CO₂* de la *International Energy Agency* (2019), el consumo del sector energético está incurriendo en una transformación del sector y la industria energética.

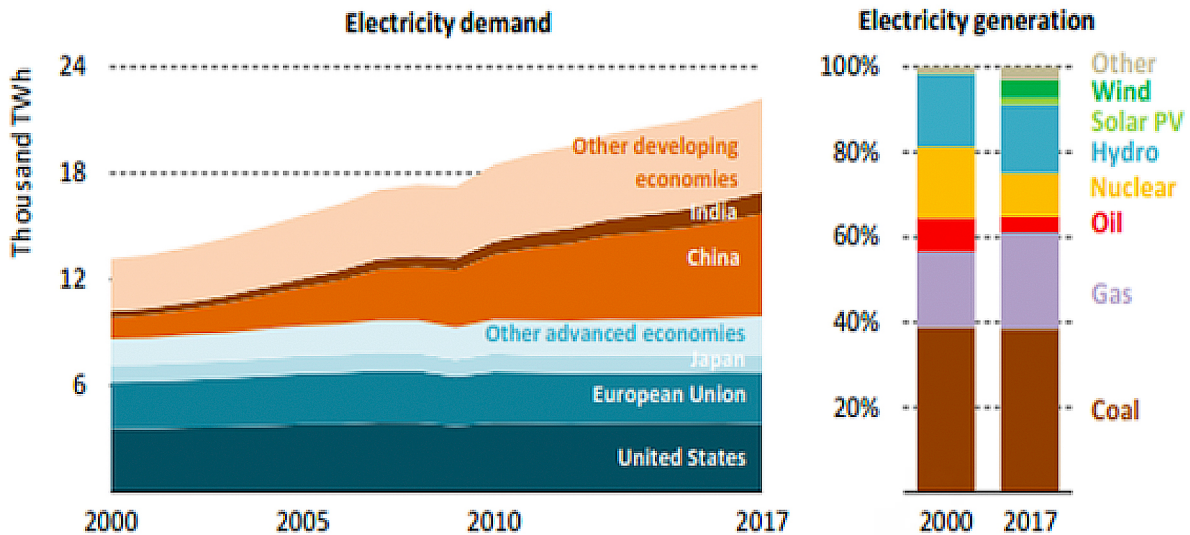
El consumo de electricidad a nivel mundial aumenta a un ritmo más rápido que otros sectores de energía debido a la electrificación de los usos de la energía.¹⁹ Las tecnologías innovadoras para producir, transportar y almacenar la energía están ganando terreno por encima de las formas tradicionales, principalmente en las economías en desarrollo, las cuales representan alrededor del 85% del aumento de la demanda de este tipo de energía (Figura 2). Sin embargo, a pesar de la expansión de la electricidad en las economías en desarrollo, existen dificultades para alcanzar el acceso universal a la electricidad (International Energy Agency, 2018).

18 Definimos al sistema energético como un conjunto ordenado de normas y procedimientos que regulan el funcionamiento del sector energético, el cual se relaciona con actividades de producción, transportación, consumo, manejo e intercambio de los productos energéticos.

19 La electricidad representa el 19% del consumo final total en la actualidad y ha presentado, desde 2000, un crecimiento anual del 3%, aproximadamente dos tercios más rápido que el consumo final de energía total.

Figura 2

Demanda mundial de electricidad por región y generación por fuente, 2000-2017

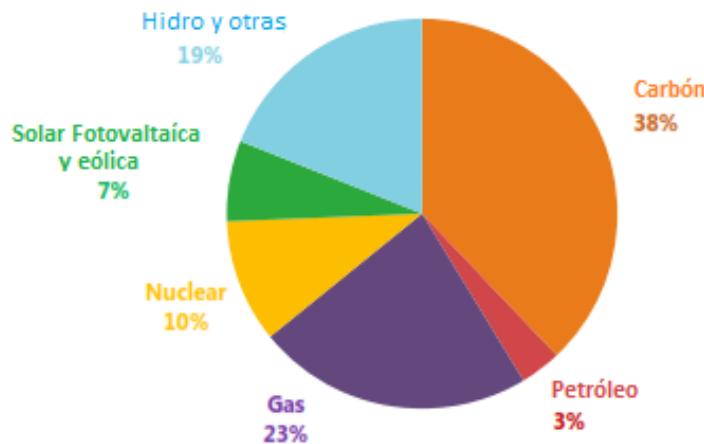


Nota: La figura de la izquierda representa la demanda mundial de electricidad por región, donde aproximadamente el 50% corresponde a países con economías en vías de desarrollo (India, China y otros países en desarrollo). La figura de la derecha es una comparación de los *mix* energéticos de 2000 y 2017, y muestra que las energías renovables no han afectado la participación general de los combustibles fósiles. Tomado de *World Energy Outlook (WEO) - Special Report*, por International Energy Agency, 2019, IEA.

En la transformación energética que está en marcha, ha dado pie a la participación de las denominadas energías renovables. Sin embargo, como se observa en la Figura 3, el *mix* energético mundial aún está constituido mayoritariamente por la producción de electricidad a través de carbón (38%) seguida por el gas (23%), la nuclear (10%), la solar y eólica (6%) y la hidroeléctrica en conjunto con otras formas de producción (19%). Si bien, la generación a través de energía eólica y solar fotovoltaica (PV) se ha incrementado a comparación de los 2000, ésta aún no modifica la participación general de los combustibles fósiles en la generación eléctrica los cuales mantienen una participación del 65%. (International Energy Agency, 2018).

Figura 3

Mix energético mundial, Capacidad instalada mundial a 2018



Nota: Tomado de *Global Energy & CO₂ Status Report - The latest trends in energy and emissions in 2018*, por International Energy Agency, 2019, IEA [Traducción propia].

Dando rumbo a la transición energética

Las condiciones previamente mencionadas -segmentos de las sociedades que aún no acceden a energía, generación de energía con altas contribuciones de GEI y dependencia en combustibles fósiles- han llevado al Consejo Mundial de la Energía (WEC por sus siglas en inglés) y la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) a proponer un modelo de un sistema energético el cual debe estar constituido de tres pilares: la asequibilidad de las energías, la confiabilidad del suministro y la sustentabilidad, y que, de equilibrarlos, los países pueden tener bases para la prosperidad y la competitividad (Wyman, 2016; IEA, 2018).

Figura 4

Pilares fundamentales de un sistema energético (Trilema energético)



Nota: Tomado de *Presentación del Consejo Mundial de la Energía*, por Wyman, 2016, World Energy Council.

Para lograr el equilibrio en el trinomio energético el WEC ha identificado los siguientes desafíos para el sector energético: 1) los países se comprometieron a disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) haciendo énfasis en la descarbonización del sector energético, 2) existe una importante cantidad de personas en las economías emergentes que requieren del acceso a servicios de energía modernos, a la vez que a nivel mundial la demanda de energía crece, y 3) la transformación de los diseños de mercado y la expansión de la infraestructura energética, la seguridad y confiabilidad de la energía deben mantenerse y fortalecerse en un contexto de riesgos crecientes y desafíos de resiliencia (Wyman, 2016). Con el objetivo de contrarrestar estos desafíos, el WEC ha establecido cinco áreas primordiales o estrategias para que los países aceleren su transición energética (Wyman, 2016):

1. **Transformar el suministro de energía.** Los formuladores de políticas y los tomadores de decisiones deben establecer objetivos energéticos claros y directos. Es importante construir un amplio consenso para la transición en la oferta y la demanda de energía. Para ello, se promueve la diversificación del y evitar los retrasos en la implementación de proyectos energéticos.
2. **Avanzar en el acceso a la energía.** Los países deben promover la ampliación de la infraestructura para respaldar la seguridad, la confiabilidad y el acceso a la energía avanzada; adicionalmente, deben buscar una gama de mecanismos innovadores que permitan un acceso asequible para que las personas utilicen los

- beneficios de la energía moderna para actividades generadoras de ingresos.
3. **Lograr la asequibilidad.** Garantizar la asequibilidad a largo plazo de la energía, principalmente en países con productos internos brutos (PIB) bajos y una clasificación baja en la dimensión de equidad energética. Para ello, el WEC propone aumentar la competitividad en el mercado de la electricidad en el largo plazo y, el uso de subsidios y programas sociales en el corto y mediano plazo.²⁰
 4. **Mejorar la eficiencia energética y gestión de la demanda.** Los formuladores de políticas deben alinear los intereses de los propietarios de activos, usuarios y reguladores, y continuar implementando una combinación de estándares de eficiencia energética, calificaciones de desempeño, programas de etiquetado e incentivos. También deben aumentar la conciencia en todos los sectores industriales y alentar a los consumidores a seguir centrándose en la aplicación de medidas de eficiencia energética.
 5. **Descarbonizar al sector energético.** Promover y aumentar la participación de las energías renovables en el *mix* energético y trabajar para emplear tecnologías con menor emisión de CO₂ en el sector energético. Las políticas dinámicas y flexibles de inversión en energía renovable son la clave para responder a la evolución de la dinámica del mercado y los desarrollos tecnológicos, y con ello cumplir los objetivos mundiales de reducción de GEI.

Adicionalmente, el WEC establece que para afrontar el trilema energético, es fundamental que 1) el régimen político respalde a un sector energético robusto y 2) que las acciones políticas y de inversiones destinadas a cambiar la oferta y la demanda de energía se efectúen a la brevedad.

En términos generales, las acciones promocionadas por este trilema avanzan. Tomando como referencia los datos de Enerdata (2018), las energías renovables crecieron más del 4% en 2017. Esto se debió en gran medida a la expansión en la generación de electricidad, donde las energías renovables representaron el 45% del crecimiento en 2018. Sin embargo, más esfuerzos deben de realizarse pues los datos muestran que la transición a un sistema energético bajo en carbono (con mayor participación de energías renovables) es lenta. Lo cual nos lleva a preguntarnos ¿Qué influye en la velocidad de la transición?

La velocidad de la transición de los sistemas energéticos depende de dos factores: la infraestructura de los sistemas energéticos y las políticas públicas que impulsan la transición energética dentro de los países. Estas condiciones establecen transiciones diferenciadas entre los diferentes países. En el caso particular de los países desarrollados, la velocidad de transición depende y se ve limitada por su infraestructura instalada de largo plazo. En el caso de las economías en desarrollo, existen oportunidades importantes para transitar a este sistema energético, esto considerando sus necesidades de instalación de nueva infraestructura, no obstante, los costos de inversión limitan estas acciones.

A continuación, se presenta un análisis de las condiciones de México para su transición energética utilizando el modelo de transición del trilema energético y utilizando las áreas primordiales anteriormente descritas. Para este análisis aplicamos dos enfoques: por un lado, una revisión del contexto político-institucional para la expansión y transición hacia fuentes más limpias de energía y, por el otro lado, una revisión de las condiciones de la infraestructura del país.

México y su transición energética

En términos de política pública, México considera la jerarquía de normativa basada en la teoría de Kelsen, la cual sitúa a los tratados internacionales como una obligación con la misma importancia que la Constitución. Por ello, se considera que la Conferencia de las Partes (COP) 16 realizada en 2011 marcó un hito para el avance y desarrollo de

²⁰ EL WEC identifica que los subsidios a largo plazo pueden erosionar la rentabilidad de los servicios públicos, paralizar las mejoras en la infraestructura energética y estimular el uso ineficiente de la energía.

estrategias climáticas en México. En ésta, México anunció su adhesión al Consejo General y se comprometió a disminuir sus emisiones de GEI si a cambio los países desarrollados contribuyen al país mediante apoyos económicos y transferencia tecnológica.²¹ Posteriormente, en la COP 21, el país reafirmó su compromiso con las causas climáticas al comprometer la disminución de sus emisiones un 22% con su propio presupuesto y un 36% con apoyos externos, la deforestación neta de cero para el 2030, y la generación del 43% de su energía eléctrica (35% al 2024) a partir de energías limpias para el 2030.²²

Desde el punto de vista de políticas energéticas, las medidas que ha establecido México se pueden dividir en dos fases, las impulsadas en el sexenio 2012-2018 y las propuestas para el sexenio 2018-2024.

Durante el periodo de 2012-2018, el país realizó modificaciones en las políticas nacionales, las cuales promovían la transición energética alineada a las tendencias internacionales. Algunas de estas modificaciones se realizaron a través de la reforma energética de 2013,²³ la implementación de las reformas secundarias de 2013-2014²⁴ y la Reforma Energética y la Ley de Transición Energética realizadas en 2015.²⁵ Adicionalmente, a nivel federal se desarrollaron iniciativas que promovían la investigación, innovación y desarrollo en materia energética, particularmente la renovable. Se desarrollaron instrumentos, entre los que destacan los Certificados de Energías Limpias (CEL), cuyo propósito fue el incentivar la transición al uso y generación de energía limpia. Adicionalmente se fomentó la capacitación de recursos humanos especializados en el tema, así como la creación de centros de investigación enfocados específicamente al sector energético a través de los fondos mixtos CONACyT-SENER sustentabilidad y energías renovables. Si bien la política energética seguía promoviendo el aprovechamiento de los hidrocarburos (a través de la reforma energética de 2013) se pretendía reducir el impacto ambiental de dichas actividades a través de la creación de instituciones y marcos normativos reguladores.

La política energética presentada por el gobierno de la República en su Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 (Anexo XVIII-Bis al Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, 2019) pretende continuar con dicha transición de manera sustentable. Si bien, la estructura legal establecida durante el sexenio anterior no se ha modificado hasta finales de 2018 y hasta inicios del 2020 es necesario identificar a fondo las medidas establecidas por el nuevo gobierno para comprender la situación actual de este sector en el país.

El Plan Nacional de Desarrollo del 2019-2024 (Anexo XVIII-Bis al Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, 2019) percibe al sector energético nacional como la fuente nacional de desarrollo cuya premisa pone como elemento principal a los hidrocarburos, particularmente petróleo y gas, y percibe a las energías renovables, particularmente

21 El compromiso de reducción fue de 30% de su línea base al 2020 y hasta un 50% de sus emisiones de 2000 para 2050.

22 Es importante marcar la diferencia entre la concepción de energías limpias y renovables.

Energías limpias (Artículo 3, Fracción XXII, Ley de la Industria Eléctrica): “Aquellas fuentes de energía y procesos de generación de electricidad cuyas emisiones o residuos, cuando los haya, no rebasen los umbrales establecidos en las disposiciones reglamentarias que para tal efecto se expidan.” Incluye proyectos de generación con energía renovable y cogeneración eficiente”.

Energías renovables (Artículo 3, Fracción XVI, Ley de Transición Energética): “Aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por el ser humano, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica, y que al ser generadas no liberan emisiones contaminantes”.

23 Esta reforma tenía como objetivo remodelar las estructuras del sector energético para permitir nuevas inversiones (apertura comercial) y tecnologías en la cadena de valor de los hidrocarburos.

24 Las reformas secundarias incluyeron la creación las siguientes normativas: Ley de Hidrocarburos, Ley de la energía Geotérmica, Ley de la Industria Eléctrica, Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, Ley de los Órganos Reguladores Coordinados en Materia Energética.

25 Esta ley tiene por objetivo regular 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.

las tecnologías de generación distribuida, como soporte para promover el acceso a la energía. Es decir, se observa una desalineación de la política y las estrategias energéticas entre las políticas del sexenio previo y el corriente. Esta desalineación se presenta tanto en el establecimiento de acciones como la cancelación de las subastas energéticas, la construcción de una nueva refinería y la rehabilitación de 6 existentes; como en la presentación mediática de los resultados, donde se garantiza que se realizan actividades en pro del medio ambiente.

En términos de infraestructura, el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), está compuesto por cuatro sistemas eléctricos aislados: el Sistema Interconectado Nacional (SIN), que constituye la gran red eléctrica del país; el Sistema Eléctrico Baja California (BC); el Sistema Eléctrico Baja California Sur (BCS) y el Sistema Eléctrico Mulegé (SEM). Adicionalmente, el SEM cuenta con 10 regiones de control, de las cuales 7 se encuentran interconectadas y conforman el SIN. En estas regiones de control se concentra el mayor consumo de energía eléctrica, por lo que el intercambio de los recursos y reservas de capacidad ante la diversidad de demandas y situaciones operativas hace posible un funcionamiento más económico y confiable. Las tres regiones de control, Baja California, Baja California Sur y Mulegé, eléctricamente aisladas del resto de la red eléctrica, se espera que se interconecten al SIN a partir de 2023 y 2024 respectivamente.

Figura 5

Regiones de Control del SEN



Nota: Tomado de *Regiones de control del SEN* (p. 18), por Secretaría de Energía [SENER], 2018.

La capacidad instalada del SEN en 2017 fue de 75,685 MW, de la cual el 70.5% correspondía a centrales eléctricas convencionales y 29.5% a centrales eléctricas con tecnologías limpias (SENER, 2018, p. 18).

De acuerdo con las condiciones jurídicas actuales el 57.2% de la capacidad instalada corresponde a centrales eléctricas propiedad de CFE, el 17.5% a centrales de Productores Independientes de Energía (PIE) y el 25.3% restante a capacidad que los particulares aportan bajo los esquemas de autoabastecimiento, cogeneración, pequeña producción, exportación, usos propios continuos, generador, centrales eléctricas para generación distribuida y los sistemas rurales no interconectados reportados por FIRCO.

La capacidad instalada varía de acuerdo a la región geográfica. El 62.5% de la capacidad total instalada se concentra en tres regiones de control (Oriental, Occidental y Noreste), 29.4% en cuatro regiones de control (Central, Noroeste, Norte y Peninsular) y el 7.5% restante en los sistemas aislados de Baja California, Baja California Sur y

Mulegé. Adicionalmente, existen 474 MW de capacidad asociada a las unidades relacionadas a FIRCO y generación distribuida en diversas ubicaciones.

Se observa que el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) es un sistema maduro – cuenta con una cobertura lo suficientemente amplia como para que la transición a otras fuentes de energía sea lenta - el cual enfrenta retos de transformación tecnológica y de demanda (Biosfera Desarrollos y Coenergía, 2017), a saber: 1) La producción de energía está centralizada en tecnología en obsolescencia, gas natural y otros combustibles importados, 2) el sistema energético se encuentra al límite de su capacidad y las autorizaciones para interconexión están por el momento suspendidas, 3) la transmisión de energía cuenta con limitadas rutas de abastecimiento que puedan expandirse por todo el territorio, además de existir el riesgo de que el país se vuelva un país estructuralmente deficitario de energía para los próximos años.

El sistema energético se encuentra al límite de su capacidad y las autorizaciones para interconexión están por el momento suspendidas. Este hecho limita actualmente la inversión en estas tecnologías ya que no representa motivación alguna.

Tomando en cuenta el contexto del país, así como las acciones estratégicas propuestas por el trilema energético nos permiten sintetizar comprender de la siguiente forma los retos para la transición energética del país:

1. **Transformar el suministro de energía.** Derivados de los compromisos climáticos del país y las metas de mitigación establecidas en las leyes promulgadas en el sexenio 2012-2018, existen objetivos claros y directos para la transición energética en el corto y mediano plazo. Sin embargo, la desalineación de las políticas y estrategias energéticas del sexenio 2018-2024 dejan en un plano secundario a la expansión de las energías limpias y ponen en riesgo el cumplimiento de los objetivos climáticos.
2. **Avanzar en el acceso a la energía.** Las subastas de energía promovidas por el sexenio 2012-2018 planeaban la expansión de la red energética aumentando con ello la seguridad, confiabilidad y acceso a la energía avanzada. Sin embargo, no contemplaban el acceso de este tipo de energía a comunidades aisladas y marginadas que se encuentran fuera de la red del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Por el contrario, este rubro es abordado por la intención del uso de sistemas distribuidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024.
3. **Lograr la asequibilidad.** Las políticas impulsadas en 2012-2018 promovían la asequibilidad de la energía en zonas conectadas a la red del SEN, contemplaban la eliminación de los subsidios a las energías de combustibles fósiles y promovían el desarrollo de un mercado eléctrico mayorista que regulara los precios del mercado eléctrico. Por el otro lado, en sexenio 2018-2024, tras poner a los hidrocarburos como fuente principal de la energía nacional y limitar los recursos y medios para el desarrollo de la industria energética reduce la importancia que pueden tener las energías renovables, poniendo en riesgo su expansión y alterando las condiciones del mercado. Por mencionar algunos ejemplos, recortes presupuestales para la investigación, desarrollo e innovación en temas energéticos, cancelación de las subastas energéticas de largo plazo e intentos de modificación de las reglas de operación de los Certificados de Energía.
4. **Mejora de la eficiencia energética y gestión de la demanda.** Ambos periodos consideraron la relevancia de la eficiencia energética. En el periodo 2012-2018, se impulsaron proyectos relacionados con eficiencia energética en el sector agropecuario y pesquero, mediante programas en el Fideicomiso de Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA), y con los consumidores directamente, mediante los programas del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE). Adicionalmente, se realizaron proyectos de mejora de eficiencia energética en edificios gubernamentales y se promovió la eficiencia energética a nivel industrial y empresarial. En contraste, en el periodo 2018-2024, se plantea como elemento relevante el uso de los hidrocarburos, y aunque desactivo los programas de FIDE de forma inicial, ha comenzado la reactivación de algunos programas del mismo fideicomiso.
5. **Descarbonización del sector energético.** Esta es la estrategia más desalineada de los dos periodos. Mientras que en el sexenio 2012-2018, se planteó una transición a la generación de energías limpias el cual, aunque depende parcialmente de fuentes convencionales como el gas, establecía medidas de eficiencia y reducción

de GEI. El sexenio 2018-2024, plantea la necesidad de establecer a los hidrocarburos como fuente principal para el desarrollo del país.

Conclusiones

El análisis que se ha presentado nos conduce a las siguientes conclusiones:

1. El sector energético contribuye de manera significativa al cambio climático debido a sus emisiones de GEI. El disminuir estas emisiones, abre oportunidades para mitigar el cambio climático e impulsar el desarrollo sostenible. La transición energética puede contribuir a equilibrar las crecientes demandas de energía con la necesidad de disminuir los costos derivados del cambio climático.
2. Las cinco estrategias propuestas por el trilema energético son una guía para la transición energética que proponen dar solución a los tres grandes problemas del sector energético – demanda creciente y abastecimiento energético desigual, generación de energía con alta emisiones de GEI y dependencia de la importación de combustibles fósiles. Sin embargo, la velocidad a la cual los países transitan está fuertemente influenciada por la existencia y alineación de las políticas públicas para la promoción de la transición, y la infraestructura energética de cada país.
3. La revisión hecha para México de las cinco acciones estratégicas para promover la transición energética según el modelo del trilema energético muestran la existencia de una desalineación de políticas públicas y estrategias nacionales la cual acentúa los riesgos de transición al combinarse con las limitaciones en el desarrollo de infraestructura.

Finalmente, se identifica la necesidad de establecer medidas que permitan impulsar el desarrollo de las energías renovables en el país. Los compromisos climáticos mundiales y las consecuencias económicas derivadas del cambio climático nos obligan a contemplar una estrategia de desarrollo más limpia y responsable. Hasta el momento, la política energética establecida por la reforma energética blinda y promueve parcialmente el desarrollo de fuentes limpias en el país sin embargo más acciones son necesarias.

Es indispensable dejar de considerar a las energías renovables como una moda y verlas como un eje estratégico, que si bien no puede ser cumplido de inmediato debería ser contemplado en el mediano y largo plazo.

Referencias

- Anexo XVIII-Bis al Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024 de 2019. Comunicaciones de la Secretaría de Gobernación, con la que remite el Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. 30 de abril de 2019. Gaceta Parlamentaria Número 5266-XVIII
- Asghar, Z. (2008). Energy–GDP relationship: A causal analysis for the five countries of South Asia. *Applied Econometrics and International Development*, 167-180.
- Biosfera Desarrollos y Coenergía. (2017). *Evaluación de Necesidades Regional 2: Estados de Chiapas, Guerrero y Oaxaca*. México: Secretaría de Energía.
- Brundtland, G. H. (1987). *Our common future*. Oslo: World Commission on Environment and Development.
- DDPP Deep. (s.f). *Deep Decarbonization Pathways Project*. Deep Decarbonization Pathways Project: <http://deepdecarbonization.org/>
- Enerdata. (2018). *Anuario Estadístico Mundial de energía 2018*. Obtenido de Enerdata: <https://datos.enerdata.net/>
- Iniciativa UNA ONU: Asociación para el aprendizaje sobre el Cambio Climático. (1 de Agosto de 2014). Introducción a la mitigación del Cambio Climático. *Introducción a la mitigación del Cambio Climático*. ONU. Obtenido de https://www.unclearn.org/sites/default/files/modulo_4_introduccion_a_la_mitigacion_del_cambio_

climatico_revised.pdf

International Energy Agency. (2018). *World Energy Outlook (WEO) - Special Report*. Paris: IEA.

_____. (2019). *Global Energy & CO2 Status Report - The latest trends in energy and emissions in 2018*. Paris: IEA.

Ley de la Industria Eléctrica de 2014. Se expiden la Ley De La Industria Eléctrica, La Ley de Energía Geotérmica y se adicionan y reforman diversas disposiciones de la Ley de Aguas Nacionales. 11 de agosto de 2014. D.O.F.

Ley de Transición Energética de 2015. Se expide la ley de transición energética. 24 de diciembre de 2015. D.O.F.

Panel Intergubernamental del Cambio Climático (2013). *Glosario. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Nueva York, NY, Estados Unidos de América: IPCC.

Márquez Ortiz, L. E., Cuétara Sánchez, L. M., Cartay Angulo, R. C., y Labarca Ferrer, N. J. (2020). Desarrollo y crecimiento económico: Análisis teórico desde un enfoque cuantitativo. *Revista de Ciencias Sociales vol. XXVI, núm. 1*, 233-253.

NASA. (s.f). *Los efectos del cambio climático*. Obtenido de Global Climate Change. Vital Signs of the Planet. NASA: <https://climate.nasa.gov/efectos/>

Ritchie, H., y Roser, M. (16 de octubre de 2019). *Our World in data*. Obtenido de Energy Production & Changing Energy Sources: <https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>

Secretaría de Energía [SENER]. (2018). *Programa de desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN) 2018-2032*. México: Secretaria de Energía[SENER].

Stern, N. (2006). *STERN REVIEW: The Economics of Climate Change*. United Kindom: HMTreasury.

Thiam, D. R. (2011). Renewable energy, poverty alleviation and developing. *Journal of Energy in Southern Africa*, 23-34.

Valcárcel, M. (2006). Documento de investigación: Génesis y evolución del concepto y enfoques sobre el desarrollo. Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://www.uv.mx/mie/files/2012/10/SESSION-6-Marcel-Valcarcel-Desarrollo-Sesion6.pdf>

World Bank. (28 de marzo de 2020). *PIB (US\$ a precios actuales)*. Obtenido de Datos de libre acceso del Banco Mundial: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD>

Wyman, W. E. (2016). *World Energy Trilemma*. Reino Unido: World Energy Council.

Consideraciones éticas para la investigación y la toma de decisiones frente al cambio climático

SARAI ZAVALA GALVÁN²⁶

Resumen

El reconocimiento del cambio climático como problema ha ido en aumento en las últimas décadas, dado a que sus efectos se han hecho cada vez más evidentes y que hay un mayor conocimiento del tema. Además, se ha incrementado la participación activa de distintos actores en los espacios de toma de decisiones para hacerle frente al problema, así como de su estudio y comunicación, dando como resultado una gran variedad de perspectivas en el tema. Derivado de lo anterior, surge la necesidad de generar una propuesta que establezca una base común de consideraciones para la atención del cambio climático e incluso para remediar posibles tensiones por intereses no coincidentes. En el trabajo se utiliza la ética para dicho fin, presentando una síntesis de posturas y acciones agrupadas desde los principios éticos de la *Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático* de la UNESCO. El objetivo es ofrecer al lector una visión general acerca de las consideraciones éticas y, de las ventajas y carencias de estas, para promover que la reflexión y toma de decisiones en el tema se haga de la manera más completa y justa posible.

Palabras clave: ética ambiental, cambio climático, justicia climática

Abstract

The recognition of climate change as a problem has been on the rise in recent decades, as its effects have become increasingly apparent and that there is a greater understanding of the issue. In addition, the actors' active participation in decision-making spaces to address the problem has been increased, as well as his study and communication, resulting in a wide variety of perspectives on the subject. Derived from the above mentioned, the need arises to generate a proposal that establishes a common basis for climate change attention and even to remedy potential tensions over uncoincidental interests. In this paper, ethics are used for this purpose, presenting a synthesis of positions and actions grouped from the ethical principles of the UNESCO Declaration of Ethical Principles in relation to Climate Change. The aim is to provide the reader with an overview of the ethical considerations and, the advantages and shortcomings of these, to promote that the reflection and decision-making on the subject is done in the most complete and fair way possible.

Keywords: environmental ethics, climate change, climate justice

26 Licenciatura en Ciencias Ambientales, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad Morelia. Contacto: saraizavalag@outlook.es

Introducción

La historia del estudio científico del cambio climático de origen antropogénico comienza en el siglo XIX cuando, desde las ciencias exactas, se realizaron los primeros trabajos enfocados en analizar la relación entre temperatura, la energía procedente del Sol y los gases de efecto invernadero (GEI) (Salas y Maldonado, 2020). Sin embargo, dado el contexto de la época, los avances de dichas investigaciones fueron poco divulgados y aceptados ya que no había suficiente evidencia científica para respaldarlos. Además, en algunos lugares, como lo fue en el caso de Estados Unidos, surgieron otros factores que dificultaron la aceptación de estas ideas, pues los medios de comunicación comenzaron a falsear información con el fin de dirigir la opinión pública en contra de la existencia del cambio climático (Luna, 2012).

Más adelante, en la década de 1960, con base en datos obtenidos de estaciones científicas, se comprobó el aumento de CO₂ atmosférico y tiempo después se propuso la relación que eso tendría con el aumento de la temperatura en el planeta. A partir de entonces, comenzaron a elaborarse modelos climáticos cada vez más complejos que permitieron generar nuevas evidencias, elaborar escenarios y promover el entendimiento del efecto invernadero, así como de la influencia de otros GEI en este fenómeno (Salas y Maldonado, 2020). Posteriormente, bajo el contexto de la globalización, comenzó un gran intercambio de información en el tema a nivel internacional, permitiendo así el inicio de la construcción de un consenso en el tema. A raíz de lo anterior sucedieron dos cosas importantes: la primera es que se posibilitó la institucionalización de la investigación en cambio climático²⁷ y, la segunda, que la esfera pública comenzó a voltear la cara en el tema (Blanco y Fuenzalida, 2013).

A la par de lo anterior, los movimientos ambientalistas comenzaron a tomar gran fuerza durante las últimas décadas del siglo XX. Estos jugaron -y continúan haciéndolo- un papel importante para presionar a los Estados a incluir en la agenda pública el tema del cambio climático (Luna, 2012). Fue en la década de los 80, cuando del activismo ambiental surgió una línea de activismo climático, mismo que buscó la forma de influir en los tratados internacionales que comenzaban a gestarse y con el tiempo, también empezaron a incidir en las políticas públicas nacionales (Nulman, 2015).

Hasta ese momento, el análisis del aumento de la temperatura como consecuencia de la variación de CO₂ atmosférico, era el principal tema de la investigación científica en cambio climático. Sin embargo, en aquellos años al ser nuevo el tema, no se ahondaba en otras variables sociales, económicas o naturales para encontrar otras causas u otras consecuencias del fenómeno, únicamente se atribuía a la actividad industrial como la causante principal del problema.

A partir de la última década del siglo XX, las ciencias sociales comenzaron a participar en la investigación de los efectos y causas subyacentes del cambio climático, perspectivas que han ido incorporándose en las propuestas de atención al problema. Algunos de los temas que comenzaron a estudiarse son: el análisis de mercado con variables ambientales y de costo-beneficio desde algunas ramas de la economía, modelos de comportamientos individuales y en colectivo ante el problema, las relaciones hombre-naturaleza a través de flujos de energía, entre muchas otras propuestas que buscan articular la dimensión social del cambio climático a diferentes escalas espaciales (Malone y Rayner, 2001).

A la fecha, académicos de diferentes ciencias, tomadores de decisiones, medios de comunicación, activistas y la sociedad en general, continúan aportando al tema desde sus respectivas facultades, confirmando el carácter

²⁷ Al respecto, el evento con mayor importancia fue la creación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en 1988.

complejo²⁸ del cambio climático. Es importante comprender que, dada la diversidad de conocimientos y saberes en el tema, de actores, de propuestas para su prevención, adaptación, mitigación y solución, y de los efectos diferenciados del cambio climático, se han construido distintas perspectivas en el tema, mismas que se han adoptado en diversos discursos y por ende para diferentes fines. Cada investigación, política pública, acción y opinión acerca del cambio climático obedecerá en distinta medida a estas posturas, lo cual ha generado también algunas tensiones.

Dado este contexto de diversidad de perspectivas sobre el cambio climático, surge la necesidad de generar propuestas que establezcan una base común de consideraciones sobre las cuales sea más adecuado atender el problema y en su caso, para remediar tensiones surgidas. El presente trabajo pretende utilizar la ética para este fin, tomando como referencia la *Declaración de Principios Éticos en Relación con el Cambio Climático* y el trabajo realizado por Carmen Velayos (2008).

El objetivo del trabajo es dar un esbozo reflexivo acerca de los planteamientos e ideas detrás de los principios de la Declaración, así como la exposición de algunas acciones que pueden responder a estos. A su vez, se busca incentivar a que el lector comience un análisis reflexivo de las posibles omisiones de cada principio ético e incluso sobre cómo podría jerarquizarlos según las acciones que busquen analizar o emprender.

La ética

La filosofía puede dividirse en distintas ramas, mismas que pueden agruparse en teóricas y prácticas. La ética pertenece al segundo tipo, el cual también incluye otras ramas tales como la política. La filosofía práctica busca dar una guía a las personas sobre cómo dirigir sus vidas de la mejor manera posible (Cortina y Navarro, 1996). De acuerdo con Bentacur (2016), la ética puede definirse como:

La reflexión del propio modelo de vida – acciones, comportamientos, actos–, en donde la razón tiene un papel importante en la toma de decisiones para comprender, justificar y argumentar. Lo anterior, por tanto, incluye los factores de reflexión, argumentación, derechos y deberes (con y respecto a otros) (p. 110).

La ética es una de las ramas que ha estado presente en la filosofía desde sus comienzos. A lo largo de la historia, han surgido distintos paradigmas éticos proponiendo diferentes guías o principios sobre los cuales debe regirse el comportamiento humano. Algunos ejemplos son la ética utilitarista, la de la virtud, la kantiana, etc. Como ya se mencionó, esta rama de la filosofía es ya un tipo de conocimiento aplicado, sin embargo, en los últimos años su reflexión teórica y los paradigmas mencionados, ya no han sido suficientes para explicar y solucionar problemas en la acción humana. Como propuesta alternativa, surge la ética aplicada, la cual responde a situaciones muy específicas enmarcadas en el contexto actual (Wicks, 2004). La ética aplicada va más allá de las reflexiones meramente filosóficas y, busca también, el intercambio de ideas con las disciplinas específicas que se relacionen con el problema moral en cuestión (Maliandi, 2002).

28 De acuerdo a Sánchez *et al.*, (2015), la complejidad en el cambio climático se refiere a que los cambios no solo se generan y afectan el sistema climático (conformado por diferentes elementos cuyas relaciones no son necesariamente lineales y están constantemente en evolución), sino que, además, se encuentra en constante retroalimentación con otros sistemas, tanto naturales como antrópicos. Para profundizar en el tema puede consultarse la literatura anteriormente mencionada.

Retomando el tema de la deficiencia de las teorías éticas para responder a muchos de los problemas morales actuales, casi nada se había descrito acerca de la responsabilidad moral del ser humano con la naturaleza u otros seres vivos (Wicks, 2004). Actualmente dicha cuestión es de gran importancia, pues dada la crisis ambiental, se vuelve una necesidad reflexionar acerca de la responsabilidad de las acciones humanas fuera de la misma especie. La ética ambiental (con algunas bases en teorías éticas anteriores), busca dar la guía para reflexionar acerca de estas cuestiones.

La historia de la ética ambiental comienza en 1968 cuando Rachel Carson en su libro *La Primavera Silenciosa*, denuncia daños a la naturaleza como consecuencia del supuesto poder ilimitado del hombre. Posterior a eso, cobró gran importancia en los movimientos ambientalistas la Ecología Profunda propuesta por Arne Naess y con el tiempo comenzaron a gestarse nuevas reflexiones (Martínez de Anguita, *et al.*, 2003).

En el 2001, Gómez Heras (citado por Martínez de Anguita, *et al.*, 2003), propuso una clasificación de cuatro grupos que engloban las distintas perspectivas de la ética ambiental:

- Ética biocentrista. Cuyo sujeto de valor es la vida como tal, ya sea humana o no, sin cuestionarlo.
- Naturalismo ecológico o geocéntrico. Tomó fuerza con los movimientos por la Ecología Profunda y cuyo objetivo principal es un equilibrio biótico.
- Teleologismo. Busca la justificación de la protección de la naturaleza mediante argumentos metafísicos.
- Antropocentrismo. Reserva al ser humano como sujeto moral y le niega a la naturaleza dicha condición, aunque se plantea que se tienen obligaciones morales respecto a ella. Cabe mencionar, que esta última no nace con la ética ambiental, sino que es una postura que ya se había planteado en teorías éticas anteriores. La diferencia, es que este nuevo antropocentrismo sí se cuestiona el valor que tienen otros seres vivos y elementos de la naturaleza, aunque en relación a la funcionalidad que tienen respecto al humano.

Esta falta de una postura crítica de la extensión del deber moral fuera de la especie humana, posibilitó la idea de dominación sobre otros seres vivos y elementos de la naturaleza y con ello, se dio pie a su explotación. Lo anterior comenzó a generar problemas en la esfera humana a través de daños a la salud, escasez del agua, etc. y fue así, que desde una visión antropocentrista, surgió la idea de problema ambiental.

El antropocentrismo en el contexto de la ética ambiental puede dividirse en fuerte y débil (Norton, citado por Lorenzo, s.f.). El primero busca estrictamente el beneficio del ser humano, por lo cual la naturaleza toma el lugar de mera herramienta en servicio de él. En el antropocentrismo débil a su vez, no es necesaria la atribución de valor intrínseco a la naturaleza, pero existen herramientas para evaluar acciones que pueden dañar la naturaleza, teniendo en cuenta que quien le atribuye valor moral a esta es el humano mismo (Lorenzo, s.f.).

La *Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático* utiliza postulados que se basan principalmente desde una ética antropocentrista débil y naturalismo ecológico, es decir, dándole el valor a los ecosistemas *per se*, pero también por los beneficios que pueden dar al ser humano (a partir de una visión utilitarista). Sin embargo, la mayoría de acciones por el cambio climático, continúan moviéndose únicamente desde la perspectiva antropocentrista, razón por la cual se tomará a esta para abordar diferentes planteamientos.

Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático

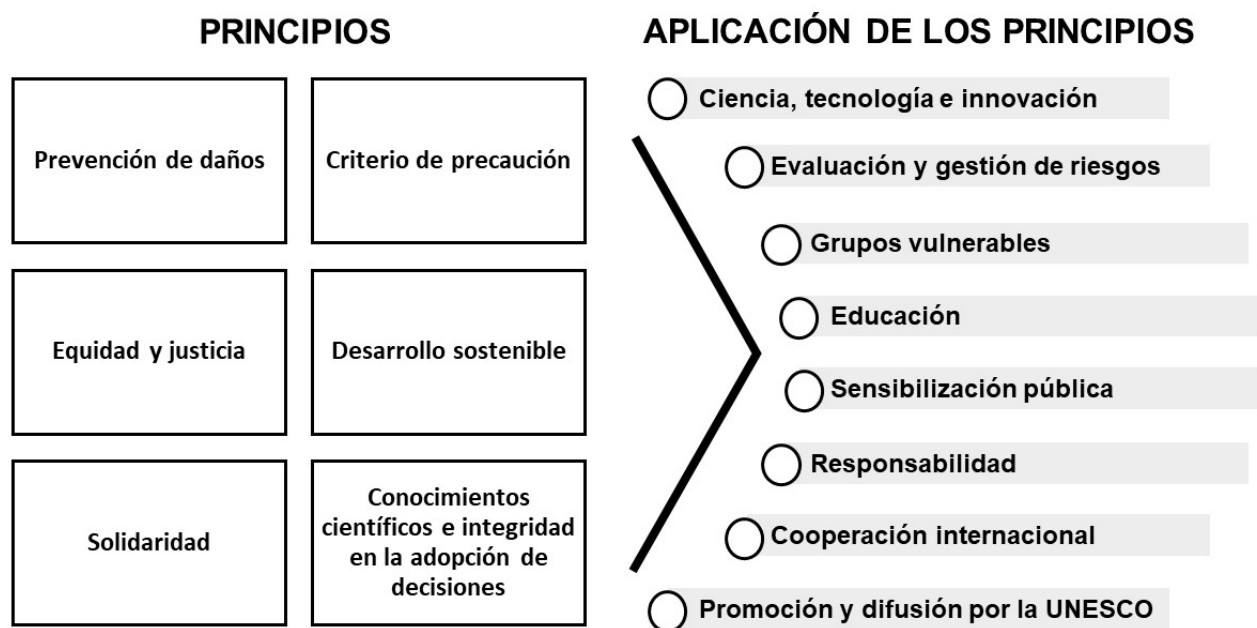
Basada en distintos documentos oficiales internacionales y, con el fin de establecer recomendaciones a actores

involucrados en la formulación de políticas públicas y otras actividades relacionadas con el cambio climático, la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, por sus siglas en inglés) aprobó en 2017 la *Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático*. Dicho documento hace una propuesta para establecer valores comunes entre diferentes actores, con el fin de que las acciones por el cambio climático sean realizadas de manera responsable y no se cometan injusticias ni daños inaceptables (UNESCO, 2019).

La Declaración consta de seis principios y de ocho artículos con recomendaciones para la aplicación de los primeros (Figura 1). Además, el documento cuenta con una serie de premisas: que, dada la evidencia científica del cambio climático, es incuestionable la existencia del problema; que se tienen responsabilidades compartidas pero diferenciadas; que es una cuestión a atenderse en diferentes escalas (desde la local hasta la global); que están involucrados diferentes actores y; que, en todo momento, deben de respetarse los derechos humanos.

Figura 1

Elementos de la Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático



Nota: Tomado de *Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático*, por UNESCO, 2017, París. (http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=49457&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html).

En los siguientes apartados, se retoman los principios y recomendaciones de la Declaración, planteando los fundamentos éticos sobre los cuales se postulan, además de ejemplificar acciones (investigaciones, políticas públicas, etc.) cuyo posicionamiento se basa en dichos puntos. Respecto a los principios, algunos se describen de forma agrupada, puesto que hay similitud en sus planteamientos. Las recomendaciones de aplicación por su parte (a excepción de la última, dado a que es tarea exclusiva de la UNESCO y queda fuera de los propósitos del trabajo), se incorporan de forma transversal a todos o a algún principio según su afinidad. Respecto a las recomendaciones, se destina un apartado especial al de Educación y Sensibilización Pública, ya que, a consideración propia, son ejes

rectores para la visibilización y la construcción de posturas (y por tanto para proponer soluciones) del cambio climático, y en general de los problemas ambientales.

Prevención de daños y criterio de precaución

Los primeros dos principios de la Declaración, enuncian la necesidad de prevenir daños y de la utilización del criterio de precaución con el fin de reducir de manera importante los posibles efectos negativos hacia las funciones y composición de los ecosistemas, así como hacia el bienestar humano. Esto, en términos del cambio climático, se traduce en medidas de adaptación y mitigación (UNESCO, 2017). Dichos principios se relacionan fuertemente con las recomendaciones de aplicación de evaluación y gestión de riesgos y, de grupos vulnerables.

Las ideas planteadas por dichos principios han estado presentes en distintos acuerdos y agendas ambientales a nivel internacional, desde la década de los ochenta según la revisión realizada por de Cózar (2005). Fue hasta 1992 en la *Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo*, que la concepción de estos principios comenzó a ser más reconocida, puntualizando en su artículo 15 que:

Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus capacidades. Cuando haya peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costos para impedir la degradación del medio ambiente (Durán y Hervé, 2003, p. 247).

La relevancia de estos principios, recae en que cuestionan de forma importante uno de los problemas más comunes dentro de la esfera pública a nivel internacional: la negligencia política en la atención de problemas climáticos, bajo la justificación de la falta de certeza científica acerca de los daños que pueden generar a diferentes plazos. Si bien es cierto que existen otros problemas a priorizar en las agendas públicas, estos principios suscitan a que pese a ello no se descuide totalmente la esfera ambiental. Un ejemplo de lo anterior es, que previo a la implementación de alguna política pública, se haga una evaluación pertinente de la potencialidad de sus daños y que, de llegar a la conclusión de que sea causal de uno grave e irreversible, no tendrá que aplicarse (Cafferatta, 2004).

Estos dos principios de la Declaración, suelen utilizarse en los discursos y documentos en torno al cambio climático (y demás problemas ambientales), para promover la actuación responsable como signo de respeto de los derechos de las generaciones futuras. Más recientemente, se ha podido comprobar que, algunos de los efectos negativos sobre el clima pueden sentirse a corto plazo, por lo que la responsabilidad ya se extiende también hacia la generación del presente. En este sentido, ya existe suficiente evidencia de que, mediante el daño a la naturaleza no humana, se puede afectar la dignidad del otro, disminuir su calidad de vida o faltarle el respeto de cualquier otra forma (Velayos, 2008).

A continuación, se mencionan algunos escenarios que Velayos (2008) describe, acerca del daño potencial al otro como consecuencia de la perjudicación a la naturaleza. El primero de ellos, es el daño a la salud humana. Como claro ejemplo, está que al emitir gran cantidad de CO₂ a la atmósfera, ya sea mediante el transporte o la industria, se verán afectadas las personas que viven en grandes ciudades, ya que suele ser en estos lugares donde se acumula y se emite más, afectando las vías respiratorias de los habitantes. El aumento de la concentración del mismo CO₂ y otros GEI, promoverá al aumento de la temperatura dada la capacidad calorífica de estos, lo cual facilita la propagación de ciertas enfermedades como el dengue, que anteriormente solo se encontraban en lugares más tropicales. No obstante, estos efectos a la salud tendrán lugar también sobre las generaciones futuras, pues ya se ha

comprobado que, dada la alteración química de la atmósfera, muchos de los nuevos efectos, tales como el aumento de la temperatura, persistirán en el futuro y otros tendrán lugar hasta dentro de varios años (Sánchez, *et al.*, 2015).

Otros de los daños indirectos a terceros por el cambio climático, recaen sobre el conocimiento científico, el valor histórico cultural y el valor turístico recreativo (Velayos, 2008). De acuerdo a la autora, el primero hace referencia a que, dado el daño que sufrirán los ecosistemas, se perderá la oportunidad de estudiar ciertas especies con riesgo a extinguirse por las afectaciones, además de que las modificaciones a las dinámicas ecosistémicas, invalidarán el avance de ciertas investigaciones. En cuanto al valor histórico cultural se hace referencia al daño generado a espacios con valor dentro de la cosmovisión de ciertos grupos poblacionales, por ejemplo, el valor que tienen las selvas para grupos indígenas del Amazonas, algunas especies de valor medicinal para ciertas culturas, etc. Finalmente, el valor turístico recreativo se verá afectado cuando sitios que atraen al sector, se ven perjudicados por las nuevas condiciones climáticas. En este sentido, no solo se dañan ecosistemas e infraestructura que son utilizados para el turismo y la recreación, sino que también se perderán empleos y la oportunidad de personas de conocer estos sitios.

Con el fin de traducir y cuantificar las pérdidas de los puntos mencionados anteriormente, se han elaborado modelos desde la economía ambiental, para que así sea más fácil valorizar monetariamente la aplicación del principio precautorio y, realizar acciones siguiendo la recomendación de evaluación y gestión de riesgos. Gracias a dichos modelos, los tomadores de decisiones pueden vincular cómo las políticas públicas estarán relacionadas con las generaciones futuras en un lenguaje de costos y beneficios (Linares y Romero, 2008). Un ejemplo de ello son los mercados de carbono, desde los cuales se establecen incentivos negativos, en este caso, cuotas para responsabilizar a quienes emiten en mayor proporción GEI. En el siguiente apartado se describirá más el tema.

Como puede apreciarse, los mecanismos para trasladar a la política pública el principio precautorio, prevención de daños y la gestión de riesgos, se basan principalmente en una ética antropocentrista fuerte, pese a que en la Declaración estos responden más bien a un antropocentrismo débil. Lo anterior, se hace evidente porque en las evaluaciones de las consecuencias de la aplicación o no de dichos principios, suele pensarse en el beneficio o perjudicación que pueden llevar a elementos solo de los sistemas sociales, ya sea el económico, la salud, de generación de conocimiento, etc.

Lo descrito en el párrafo anterior, podría responder a una ética como la que plantea Kant, misma que ha sido fuertemente criticada desde la ética ambiental por su carácter antropocentrista, y, sin embargo, continúa teniendo gran participación en las propuestas ambientales (Marcos, 2001). Kant no habló acerca de la responsabilidad hacia los ecosistemas en general, pero mencionó en su teoría que los animales diferentes al ser humano, tendrán solo valor en relación a su utilidad hacia los propósitos humanos (Rachels, 2003).

Además de la crítica de que han sido las acciones por el cambio climático -desde el criterio de precaución y prevención de daños- muy antropocentristas, también han surgido observaciones hacia dichos principios como tal. A continuación, se plantean algunas de ellas, basadas en la revisión que hace de Cózar Escalante (2005):

- Si bien es cierto que se habla mucho acerca de la importancia del conocimiento científico para tomar las decisiones correctas y prevenir daños, también es importante establecer mecanismos de participación para que distintos actores se involucren en la valorización de los posibles daños (esto se retomará en el apartado de conocimientos científicos).
- Si no se integran distintas perspectivas, es posible que se tomen decisiones sesgadas, recordando que los daños son diferenciados.
- Se requiere de un gran análisis de costo-beneficio, sin embargo, aún no existen herramientas suficientes

para elaborar dicho análisis de forma completa.

- El concepto de precaución es sumamente vago, puesto que no marca una directriz concreta acerca de qué grado de incertidumbre es aceptable, hasta qué punto un daño debe reconocerse como grave, etc.
- Aunque la ciencia es una herramienta indispensable, basarse solo en ella es remontarse a una época en la cual solo se aceptaba un conocimiento basado en la razón. Sin embargo, bajo estos criterios de precaución y prevención, es igual de importante lo que se sabe a lo que no se sabe.

El actuar bajo estos principios de prevención y precaución del daño, lleva a cuestionarse acerca de la responsabilidad que debería adjudicarse a ciertos actores en particular. En el siguiente apartado, se analizará más el tema.

Equidad, justicia y solidaridad

En la Declaración, los principios de justicia, equidad y solidaridad, así como las recomendaciones de aplicación de responsabilidad y de cooperación internacional, buscan fomentar que las acciones respecto al cambio climático sean imparciales, pero que siempre se tenga en cuenta que existen unos grupos más vulnerables que otros, a los cuales se les debe de prestar especial atención. Tienen como objetivo también, el que se protejan los ecosistemas con el fin de que las generaciones futuras puedan vivir con dignidad, además de buscar que todos los actores accionen desde las responsabilidades que tienen con respecto al ambiente. Todo lo anterior, se buscará a través del reconocimiento de la diversidad internacional de las posibilidades y de los efectos diferenciados, volviéndose necesaria la participación de los distintos actores a una escala planetaria (UNESCO, 2017). Estos son quizá los temas sobre los cuales han surgido más discusiones desde la ética del cambio climático. A continuación, se expondrán de forma breve algunos de los planteamientos que se han debatido.

Una postura ambiental que se ha desarrollado y aceptado desde el informe de Brundtland (Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo [CMMAD], 1987), es la de la responsabilidad que se tiene respecto a las generaciones futuras para que estas puedan acceder a recursos naturales²⁹ de calidad, a sus servicios y tengan también la posibilidad de una vida digna. En relación a esto, existen distintas posiciones que cuestionan si las generaciones futuras son sujetas de derecho aunque aún no existan y dado a que las generaciones presentes tienen decisión sobre su existencia o no. A esto se le suma que aún no existe un argumento claro acerca de cuál sería el beneficio inmediato (además de la idea de la preservación de la especie humana), de cumplir con acciones responsables respecto a las generaciones futuras y que estas puedan vivir bien (Lorenzo, s.f.).

Hablar de justicia en el ámbito climático, no solo se refiere a la justicia respecto a las generaciones futuras, sino también se manifiesta una necesidad de responsabilidad ante las acciones que las generaciones pasadas tuvieron y que actualmente se reflejan en daños tales como el cambio climático. En ese sentido, surgen cuestiones como la de si las generaciones actuales que habitan en los países desarrollados están obligadas a absorber la responsabilidad de sus antepasados (ya que disfrutaron de los beneficios de haber desarrollado la industria antes que otros países), es decir, de responder por las emisiones históricas de GEI o, si las políticas públicas deben enfocarse al escenario actual de emisiones y solo dar mayor atención a los países más vulnerables al cambio climático (Velayos, 2008)

29 Nótese que hablar de recursos naturales es ya una postura antropocentrista, pues a dichos elementos de la naturaleza se les nombra desde su susceptibilidad a ser utilizados.

Dejando de lado el tema de justicia intergeneracional, surge otro planteamiento para resolver los dilemas que emergen de la responsabilidad climática. Manuel Cruz en 1999 (citado por Velayos, 2008), sugirió que la responsabilidad no debe recaer solo sobre lo que se hace, sino debe enfocarse también en lo que no hace y por tanto, se extiende hacia lo que se decide.

La teoría de responsabilidad, sugiere que es válida solo cuando se pueden prever las consecuencias de la acción a realizar (Velayos, 2008), sin embargo, como ya se vio en el apartado de Prevención de Daños y Criterio de Precaución, no es aplicable en temas ambientales. Bajo el planteamiento mencionado anteriormente acerca de la teoría de la responsabilidad, podría pasar que, por negligencia o escasez de recursos, no se realice algún estudio para tener una aproximación teórica de las consecuencias climáticas de alguna acción; quienes se encargaron de ello ¿serían entonces o no, responsables de los posibles daños a futuro?

Las políticas más populares de respuesta ante los dilemas de justicia y responsabilidad climática a nivel internacional, están inscritas en el mercado de carbono. Lo anterior, se basa en la premisa de “el que daña paga”, pero, como ya se revisó anteriormente, la responsabilidad debería extenderse también hacia lo que no se hace. Establecer mecanismos para remediar parcialmente lo que se emite a la atmósfera y pagar a otros para que no lo hagan, tiene también otro tipo de implicaciones éticas puesto que, los países emisores, estarían gozando en exceso del derecho a la atmósfera (entendida como un bien común), mientras que los países beneficiarios del mercado de carbono, asumirían costos de oportunidad injustos, como lo son el no potencializar su industria (Velayos, 2008).

Otra crítica a los mercados de carbono, es que si bien muchos se pagan en términos de carbono equivalente (determinado por la capacidad calorífica de cada gas), no se monetizan los daños que los otros gases tienen sobre la salud ambiental, además de que también el tiempo de persistencia en la atmósfera de los gases (y por tanto, sus efectos) varía. Aunado a lo anterior, tampoco se consideran los costos que el cambio climático trae sobre los modos de vida, la dignidad humana, la cultura, etc.

Para comprender el planteamiento de la atmósfera como un bien común, es necesario revisar la teoría de La Tragedia de los Comunes de Garret Hardin (1968). El autor plantea que el manejo colectivo de un bien común (en ese caso, un pastizal), está destinado al colapso del mismo. En el ejemplo, cada pastor solo tiene derecho a ciertas cabezas de ganado para que el pastizal pueda sostenerse a través del tiempo. Aumentar una unidad de ganado se traduce también en mayor ganancia económica de forma individual, contrario a los costos que se repartirían entre el resto de los pastores. El problema surge, cuando cada persona piensa en aumentar en una unidad su ganado, causando así el sobrepastoreo del pastizal y, quedando finalmente todos en la ruina.

Miguel Esteban Cloquell (2012), retoma la teoría de Hardin para aplicarla al problema del cambio climático. Sugiere que, en este caso, el bien común (a nivel global), es la atmósfera en conjunto con los servicios ecosistémicos que presta. Disminuir las emisiones tiene costos, que en su mayoría se traducen en menores beneficios económicos (por ejemplo, derivado de que la tecnología verde es más cara). Asimismo, no hacerlo, tiene beneficios económicos para la entidad emisora, pero costos para los humanos y ecosistemas a nivel global (incluso a grupos poblacionales que viven muy alejados del centro de origen de las emisiones). El mercado de carbono, aporta solo una solución superficial al inminente desequilibrio químico de la composición de gases de la atmósfera, lo cual tarde o temprano llevaría al colapso.

La teoría de los bienes comunes se plantea desde una perspectiva un tanto individualista, sin embargo y como último punto de este subtítulo, se analizarán algunos dilemas éticos que plantea la responsabilidad colectiva del cambio climático. Se habla de colectividad, puesto que las responsabilidades, los beneficios y costos climáticos suelen sentirse desde grupos sociales diferenciados (raramente desde personas en específico). En términos prácticos,

no podría realizarse un análisis totalmente individualista de un problema global.

Los principios éticos que se analizan en este apartado, a consideración propia, visibilizan los problemas más complicados de resolver en la cuestión ambiental, pues se ponen sobre la mesa perspectivas de los intereses y efectos diferenciados de una gran diversidad de grupos a escala planetaria. Dado lo anterior, es prácticamente imposible, dar una conclusión acerca de lo que es “correcto” o “incorrecto” en términos de justicia, equidad y límites de la responsabilidad. Una explicación a ello, puede darse a través de la descripción de los planteamientos éticos detrás de estos principios.

En la ética existen teorías acerca de la corrección y la obligación, tal como la kantiana que se revisó en el apartado anterior. Sin embargo, dichas éticas no ayudan a resolver algunos dilemas en los cuales se vuelve necesario no dar igual importancia a los fines de todas las personas ni tampoco cuando la responsabilidad moral incorpora otras escalas temporales. Esto a su vez, responde a las mismas necesidades de los principios descritos en este apartado.

La concepción actual de la ética de la virtud puede explicar en parte los principios descritos en este apartado. De acuerdo a Rachels (2003), esta ética propone que la acción humana debe basarse en virtudes (características de la personalidad que se manifiestan en la vida diaria). La acción humana será flexible para jerarquizar y para decidir qué virtudes son más adecuadas para cada caso en particular. Justamente algunas de las virtudes mencionadas por el autor son las que se mencionan en la Declaración: solidaridad, equidad y justicia. Por tanto, habrá que analizar el dilema específico de cambio climático en cuestión, para determinar la forma más adecuada de aplicar los principios mencionados en este apartado.

Una de las críticas a la ética de la virtud, dado su carácter mayormente individualista, es que puede entorpecer las políticas públicas en términos de practicidad, pues analizar cada caso en particular se tornaría desgastante y sería más viable tomar la vía utilitarista procurando el mayor beneficio general (Rachels, 2003). Sin embargo, un argumento para considerar la adopción de la ética de la virtud en el cambio climático (ya sea como eje rector o como complemento en la acción en cuestión), tiene que ver con las normas morales. Estas normas, son planteamientos legítimos acerca de cómo se debería actuar, sin necesidad de incluirlas explícitamente en las políticas públicas. Suelen regirse por virtudes comunes y su aceptación tiene que ver con que promueven el bienestar personal, social y natural, situaciones que ya se han probado empíricamente (Kwiatkowska, 2010).

Se sugiere que el cambio climático y el colapso ambiental, es el mayor reto que ha tenido la humanidad en toda su historia, por lo que, su solución tendría que involucrarla también. Un problema que se plantea Velayos (2008), es que, los problemas ambientales no tienen fronteras, sin embargo todas las agendas públicas y los compromisos, sí. El hecho de que la humanidad tenga que hacerse cargo de resolver un problema tan grave, no es práctico, pues aún no existe una institución planetaria que logre remediar todas las diferencias e injusticias que pudieran surgir (Velayos, 2008). De llegar a una propuesta para remediarlo, se requeriría de una gran cooperación internacional y de una estandarización acerca de lo que es justicia y los límites de la responsabilidad. Sin embargo, hacer lo anterior sería también atentar contra la diversidad incuestionable de los diferentes grupos sociales.

Desarrollo sostenible

El cuarto principio de la Declaración, habla de la necesidad de guiar las acciones por el cambio climático desde el desarrollo sostenible. Este principio busca retomar otros acuerdos internacionales (como la Agenda 2030), promulgados para la búsqueda del bienestar y dignidad a nivel internacional del ser humano (UNESCO, 2017). Este

postulado además, está muy relacionado con la recomendación de aplicación de ciencia, innovación y tecnología pues estos son pilares que identifican al desarrollo en sí.

A nivel global, el discurso de desarrollo sostenible es totalmente conocido y es el mayor aceptado en las cuestiones ambientales. Su origen responde al primer intento internacional por atender distintas problemáticas ambientales, establecido en el informe de Brundtland en 1987. Con su establecimiento se busca que el desarrollo de los países esté guiado no solo por la búsqueda de crecimiento económico (medido por el Producto Interno Bruto, PIB), sino que también involucre aspectos de equidad social y de cuidados de la naturaleza, misma que provee de materias primas para la producción y permite a su vez, el desarrollo de la sociedad (CMMAD,1987).

Para comprender las implicaciones éticas subyacentes a la idea de desarrollo sostenible, es necesario primeramente entender el origen del concepto de desarrollo. Este comenzó a gestarse en una época de crisis tras la segunda guerra mundial y, por tanto, de una necesaria transformación en la sociedad europea, oportunidad que Estados Unidos aprovechó para consolidar el plan Marshall, de apoyo a la reactivación económica. Fue en un discurso utilizado por el presidente Harry S. Truman, que se habla de subdesarrollo por primera vez. Al establecer esta nueva categoría, forzosamente se crea su categoría complementaria: la de desarrollo. Guiar un plan económico desde dichas categorías, traza una sola opción de camino a seguir que privilegia la posición que tenían los países involucrados con el plan. Además, de que se reafirma la brecha entre países ricos y pobres, colonizados y colonizadores (Pérez, 2011).

Hacia los años sesenta, después de casi dos décadas en que el modelo de desarrollo se promoviera como sinónimo de crecimiento económico, se decretó que también el modelo debía extenderse a la consideración de otros aspectos sociales. Posteriormente, en la década de los setenta, se propone adoptar medidas de atención a los daños provocados a la naturaleza, con lo cual nace el desarrollo sustentable, triada que involucra la esfera económica, social y natural, considerando que cuya base fue el énfasis económico del desarrollo (Mota y Sandoval, 2016).

Dado el panorama anterior, surge la duda de cuáles serían las implicaciones éticas de continuar reproduciendo un modelo de desarrollo cuyos antecedentes se basan en la inequidad y que además, ya aterrizando en el tema de cambio climático, se ha basado en la producción excesiva cuyo principal recurso energético es el petróleo (mismo que genera emisiones de GEI). Lorenzo (s.f.) ofrece una discusión de posiciones éticas que han surgido en el tema, misma que se presenta a continuación.

Lorenzo (s.f.) comienza con lo siguiente: los países desarrollados tuvieron la oportunidad de hacer crecer su economía con base en la industria, razón inicial que causó el incremento de GEI en la atmósfera y cuyas consecuencias padecen actualmente todos los países en el mundo, sin necesariamente haberse beneficiado directamente de este primer momento de industrialización. En este sentido, podría parecer que la discusión se trata de un tema de justicia climática, en el que se llegue a la conclusión que los daños causados por el cambio climático deben ser absorbidos principalmente por países desarrollados (ver la sección de Equidad, justicia y responsabilidad). No obstante, cuando la industrialización comenzó, no había conocimiento suficiente para conocer las consecuencias de la contaminación atmosférica y, por ende, no había forma de prever daños no solo hacia los países que no formaban parte de la industrialización, sino también hacia los propios habitantes.

Derivado de lo anterior, Lorenzo (s.f.) menciona que únicamente bajo términos de justicia climática, no puede justificarse la distribución de la responsabilidad del cambio climático derivado del modelo de desarrollo como se planteó. Un argumento que lo respalda es, que si bien es cierto que los países subdesarrollados no han disfrutado de los mismos beneficios (principalmente económicos) que los países industrializados, sí han aprovechado algunos otros como lo son los avances tecnológicos y científicos (Lorenzo, s.f.), así como nuevas medidas de bienestar humano.

A lo anterior, el autor nuevamente propone una contraargumentación: aunque en las primeras etapas de la industrialización no se concebía la posibilidad de efectos negativos consecuentes y los países subdesarrollados se han visto beneficiados de otras formas, sí se sabía que dado el modelo de desarrollo que favorecía a ciertos países, se explotaban los recursos naturales de los otros y se reducían sus alternativas de desarrollo en sociedad, además de que alteraban sus modos de vida (Lorenzo s.f.). Hablar entonces de desarrollo, se traduce en seguir un solo camino que lleva a la modernización e industrialización, mismas que responden a modos de producción y consumo occidentales, invisibilizando otras posibilidades de “desarrollo” y fomentando el abandono de las formas de vida tradicionales (Martínez, 2017).

Teniendo entonces el desarrollo un origen en la desigualdad y, aunque las nuevas concepciones teóricas del mismo busquen conciliar las diferencias entre países, la racionalidad económica sigue prevaleciendo por encima de otras. Un claro ejemplo de ello, es que, pese a que existen una gran cantidad de propuestas de medición de otros componentes del desarrollo, el PIB continúa siendo por excelencia el punto de comparación entre países.

La raíz ética del desarrollo sustentable se sitúa en la tradición utilitarista. El utilitarismo propone establecer su juicio de corrección sobre la acción con base en sus consecuencias, sin considerar siquiera el camino utilizado para llegar a ellas (Rachels, 2003). Dado a que el discurso de desarrollo sustentable es el más aceptado a nivel internacional, la mayoría de las acciones por el cambio climático buscarán la mayor cantidad de beneficio posible en las tres variables de este concepto, pero especialmente en la económica.

Al igual que la crítica al desarrollo sustentable, algunas de las críticas al utilitarismo están relacionadas con que como solo importa el resultado final, se vuelve incompatible con el concepto de justicia, pues muchas veces el mayor beneficio no será sinónimo del reconocimiento de los méritos individuales y de las diferencias de las personas o grupos según su contexto. Además, dado a que es una ética consecuencialista, la utilidad la ve reflejada hacia el futuro y no se consideran elementos del pasado que pueden también ser importantes para la toma de decisiones (Rachels, 2003). Un ejemplo ya mencionado de lo anterior, sería el que desde el inicio del trazo de línea del desarrollo no se consideró la diversidad de contextos y por ende la desigualdad se perpetúa a la fecha.

Conocimientos científicos e integridad en la adopción de decisiones

En este principio de la Declaración, se plantea la necesidad de generar conocimiento científico de forma interdisciplinaria y transdisciplinaria, mismo que debe adoptarse en las políticas públicas, en las que deben también incorporarse los conocimientos y saberes locales, siempre y cuando aplique. Igualmente, se establece que para que se realicen acciones por el cambio climático, todos los actores deben de tener información oportuna y completa, que en todo momento debe ser comunicada de forma adecuada (UNESCO, 2017).

Las principales discusiones éticas planteadas en torno a estos temas, han estado enfocadas en la búsqueda de herramientas para adoptar de forma adecuada los conocimientos y saberes locales, para comunicar de forma horizontal, contextualizada y objetiva la información científica y política del cambio climático, y para establecer mecanismos participativos dentro de la toma de decisiones. Otros dilemas éticos a resolver, es el ser lo más objetivos posibles para decidir quiénes deben participar en los diferentes procesos, cómo saber si dichos actores están preparados para intervenir, si debe de ponderarse o no cada colaboración, etc.

Uno de los filósofos kantianos de la actualidad, Jürgen Habermas (citado por Marcos, 2001), elaboró una teoría ética que ayuda a respaldar los planteamientos de estos principios. En primer lugar, habla acerca de un déficit democrático en la toma de decisiones. Si no hay una globalización de la democracia, las decisiones que se tomen no

incluirán adecuadamente los intereses de todos y las medidas no serán ni eficaces ni legítimas (Marcos, 2001). Para lograr lo anterior, Habermas (citado por Valenzuela, 2018) desarrolla una Teoría de la Acción Comunicativa, desde la cual le atribuye a cada persona con capacidad lingüística, la característica de interlocutor válido, cuya postura forzosamente deberá ser tomada en cuenta si las normas o decisiones le afectan de alguna manera.

Desde las ciencias sociales, han surgido varias propuestas de metodologías para atender lo expuesto en el párrafo anterior. Un ejemplo son las herramientas participativas, utilizadas principalmente en contextos locales. La Investigación Acción Participativa (IAP), busca que todos los actores sociales involucrados en algún problema, participen de manera activa y real, con el fin de que se defina colectivamente el problema, de que todos propongan soluciones de manera activa y de que estas sean mejor aceptadas y apropiadas, y así cumplidas con mayor compromiso (Sirvent y Rigal, 2014).

A nivel internacional la gobernanza ambiental y, más específicamente la climática, cobra gran importancia para conciliar los intereses de los países denominados como desarrollados y los subdesarrollados. Esta gobernanza involucra la participación de organismos gubernamentales y no gubernamentales, en la promulgación de compromisos internacionales para hacer frente al cambio climático, buscando siempre que los costos y beneficios se distribuyan de forma equitativa (Demares, 2016).

Otro ejemplo de propuesta son las etnociencias y más puntualmente, la etnoecología que busca analizar las relaciones entre humano y naturaleza en los pueblos indígenas. Dicha ciencia ha cuestionado y replanteado las metodologías utilizadas para su acercamiento con las comunidades originarias, de forma en que las poblaciones no se sientan invadidas ni que se amenace su estilo de vida. Otro reto que se han planteado es la forma de traducir al lenguaje científico la cosmovisión de dichas poblaciones, tratando de no imponer en ello la visión dicotómica occidental de la naturaleza y el ser humano (Toledo y Alarcón, 2012).

Sensibilización pública y educación

A mi consideración, estas son las recomendaciones de aplicación más importantes de la Declaración, pues es a través de ellas que puede realizarse un cambio de comportamiento guiando a las personas hacia una visión más holística acerca de cuál debería ser la relación del humano con la naturaleza, así como para la generación de empatía con todos los grupos humanos para hacer acciones lo más justas y equitativas posibles.

A través de las recomendaciones de aplicación de sensibilización pública y educación, la Declaración busca impulsar que las distintas instituciones educativas, medios de comunicación, grupos académicos y políticos, busquen una comunicación pertinente acerca de lo que es el cambio climático y de las medidas a tomarse para hacerle frente. En el caso de las entidades académicas, debe fomentarse también el diálogo interno que permita acuerdos en la forma en que la información debe de ser comunicada (UNESCO, 2017).

Uno de los factores determinantes para comprender las distintas posturas éticas que las personas han adoptado ante el cambio climático, es la forma en que se han comunicado las causas de este problema. La respuesta tanto individual como colectiva se ve diferenciada cuando se conoce la causalidad del problema, puesto que de ello depende la toma de decisiones de las acciones para hacerle frente. Comunicar a la población que el cambio climático tiene un origen antrópico, genera una respuesta de responsabilización ante el problema y por ende de que la solución es alcanzable por los propios humanos (Velayos, 2008). Lo anterior siempre y cuando no se comunique únicamente la relación humano-naturaleza como problemática (Marcos, 2001), sino como una relación necesaria puesto que la especie es parte importante de este entorno. Al contrario pasaría, si el cambio climático y los problemas ambientales

en general, se comunicaran como males incomprendidos cuyo origen mítico sólo estimularía respuestas como el morbo o el miedo (Velayos, 2008).

La visión catastrófica del cambio climático motiva a respuestas no deseables para hacerle frente. Ernesto Suárez (citado por Velayos, 2008, p.140) menciona que si se comunica este fenómeno a través del miedo y la culpabilidad, las acciones para enfrentarlo pueden no persistir a lo largo del tiempo, puesto que son posturas muy maleables. Pasa lo contrario cuando el problema y las acciones a realizar como solución del mismo logran comunicarse mediante estímulos positivos, ya que estas respuestas serán persistentes a través del tiempo y de diferentes contextos.

Toda información y recomendación referente al cambio climático (y a cualquier otro problema ambiental), debe comunicarse adecuadamente y considerando el contexto de la población dirigida, ya que cada grupo social tendrá una forma específica de codificar y entender la información, recordando que el proceso de aprendizaje siempre se relaciona con las estructuras cognitivas que se tenían previamente (González, 2012). Por ejemplo, la respuesta ante la probabilidad de eventos meteorológicos atípicos, no será la misma entre la población costera familiarizada ya con eventos como huracanes o tormentas tropicales, en comparación con quienes viven en zonas semiáridas. En el caso del ejemplo anterior, la comunicación debe ser efectiva para que logren comprenderse las consecuencias potenciales sin crear reacciones de pánico ni subestimación del problema.

En este sentido, los medios de comunicación han jugado un papel muy importante en las visiones y opinión pública del cambio climático (recordando por ejemplo, el caso citado en la introducción). El trabajo periodístico mayormente se ha enfocado en comunicar las consecuencias del problema, en lugar de comunicar también las medidas de mitigación y adaptación recomendadas. Hacerlo generaría una respuesta positiva, contraria a la comunicación exclusiva de visión catastrófica, cuyo mensaje refleja que la solución está fuera de las manos de las personas en general, y que quienes pueden atenderlo únicamente podrían ser los científicos comprometidos con el tema. Cuando eso ocurre, la sociedad decide solo ocuparse de otros problemas con soluciones desde las cuales sí pueden aportar, tales como la pobreza (Rosales, 2009).

La pertinencia de estos principios de aplicación en la ética, radica en que según el objetivo de lo que se comunique o sobre lo cual se pretenda educar, se reproducirán ciertas posturas éticas y eso traerá consecuencias como las que se han revisado en los apartados anteriores. No existe una teoría acerca de la moral que sea lo suficientemente completa como para ser aplicable en todas las acciones del ser humano y, por tanto, no habría una única forma correcta de sensibilizar y educar. Sin embargo, a mi parecer, sí habría algunas consideraciones importantes para hacerlo y así fomentar a que las acciones por el cambio climático sean lo más adecuadas posibles, además de que se trace una línea que lleve a un futuro con la mayor equidad en las relaciones humanas y de estas con su entorno.

Primeramente, considero que continuar con la línea de desarrollo sustentable y la visión antropocentrista/utilitarista de la naturaleza, podría seguir siendo viable al corto plazo mientras se hace una transición de valores. La importancia de lo anterior radica en que ayuda a responder de manera inmediata y práctica los problemas ambientales a nivel global, pues establece una línea base específica de las acciones para este fin. Sin embargo, esto deberá acompañarse del conocimiento acerca de las cosas que deja de lado esta perspectiva, tales como la justicia.

En segundo lugar, ya teniendo establecida la base descrita en el párrafo anterior, deben involucrarse elementos que lleven a repensar la relación ser humano y naturaleza que se ha tenido desde la concepción occidental, eso con el fin de comprender ahora el valor que ella tiene *per se* y no por su grado de beneficio a la sociedad. Es decir, se tendrían que utilizar postulados de una ética ambiental no antropocentrista. Igualmente, a consideración propia, educar a través de una ética de la virtud brindará herramientas para reflexionar acerca del sentido de justicia y

responsabilidad, detectando la propia posición en que cada uno se ubica y, por ende, de sus privilegios, desventajas y posibilidades.

Lo ideal podría ser una ética con planteamientos parecidos a los utilitaristas (mayor beneficio posible), pero que trasciendan el antropocentrismo y que sea lo suficientemente flexible para complementarse con otras visiones que no permitan la perpetuación de injusticias entre grupos humanos. La visión ecocéntrica de la ética ambiental no permite lo anterior, pues sus planteamientos se ponen énfasis en la relación humano-naturaleza sin considerar que los daños y la repartición de efectos son diferenciados entre los grupos humanos. Por tanto, y como puede observarse, los planteamientos éticos se complementan entre sí, situación a la que la educación y sensibilización deberían también responder.

Consideraciones finales

A lo largo del trabajo se han expuesto algunas de las posturas y propuestas para trabajar el tema de cambio climático, mismas que se han comparado con los principios de la Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático y que dejan en claro que el tema debe ser estudiado y trabajado desde su carácter complejo.

Este carácter complejo del problema, demanda que se trabaje desde la interdisciplina y la transdisciplina, como una nueva forma de construir conocimiento que responda a las necesidades del cambio climático. Anteriormente el paradigma científico obedecía una idea mecanicista y por ende lineal de sus objetos de estudio, sin embargo, eso ya no es suficiente para obtener la información adecuada y necesaria para la toma de decisiones frente al cambio climático. Es indiscutible también, que la complejidad del problema hace entender que las soluciones al mismo no deben de estar basadas solo en la ciencia y en la tecnología, sino que también va de la mano con un cambio en las estructuras políticas, de producción, consumo e inclusive civilizatorias.

En el trabajo se realizó una revisión acerca de las posturas éticas sobre las cuales se basan cada uno de los principios de la Declaración, al igual que algunas acciones frente al cambio climático. A través de dicha revisión, se comprobó que el carácter complejo del cambio climático se extiende también a las diferentes tradiciones éticas y a la misma necesidad de interdisciplinariedad de la ética aplicada. Como pudo observarse, la ética de la virtud es una propuesta con la cual muchos de los dilemas de la ética ambiental podrían resolverse, sin embargo, el utilitarismo y la ética kantiana también tienen aportes significativos.

Como se mencionó, muchas de las acciones por el cambio climático aún tienen una base en la ética ambiental antropocentrista, sin embargo existen también una gran cantidad de planteamientos y prácticas que le otorgan a la naturaleza un valor *per se* y que vale la pena analizar. Un claro ejemplo de ello, son las políticas nacionales de Ecuador y Bolivia que reconocen a la Pachamama como sujeta de derechos y, por tanto, como sujeta moral. Actualmente, obedecer a una ética bio o ecocentrista sería imposible bajo el esquema de modelo civilizatorio a escala global, en el cual aún permea la racionalidad económica, tal como se describió en el apartado de Desarrollo Sostenible. Además, estas éticas no antropocentristas serían insuficientes para remediar tensiones por cuestiones de justicia y responsabilidad entre grupos de seres humanos a escala planetaria.

Posiblemente el tema más controversial de la ética del cambio climático es el de la justicia en sus diferentes vertientes. Velayos (2008) expone que incluso de acuerdo a varios autores, las políticas climáticas no pueden basarse solo en términos de justicia, ya que resulta inviable en términos prácticos, puesto que para ello se requeriría un consenso internacional y a diferentes escalas de lo que es justicia. Lo anterior trae también otras dificultades, ya que incluso dentro de cada país existen relaciones de poder asimétricas entre actores y aún no existen mecanismos

adecuados que logren la participación equitativa de la sociedad para la toma de decisiones.

Respecto a los principios de la Declaración, considero que los de justicia, equidad y solidaridad, así como las recomendaciones de aplicación de responsabilidad, sensibilización pública y educación son los de mayor importancia, puesto que muchas acciones por el cambio climático pueden ser utilizadas con fines que perjudiquen a ciertos grupos sociales. Por ello es necesario realizar un balance acerca de las consecuencias y el contexto sobre el cual se planteará cada propuesta por el cambio climático.

Dado lo anterior, sería recomendable pensar cómo cada política pública y cada acción afecta en términos de justicia a otras personas. Si bien es cierto que la investigación científica intenta ser lo más objetiva posible, siempre es necesario reflexionar la postura que se tiene respecto al tema general al que la investigación aportará. Por ejemplo, es importante ser cuidadosos con la selección de variables a analizar, ya que pueden obedecer cierta postura excluyente de algún tipo de justicia y, ser conscientes de ello, permitiría plantear los resultados de forma en que no den lugar a malas interpretaciones o a ser utilizados para fines no deseados.

Referencias

- Bentacur, J. G. E. (2016). La ética y la moral: paradojas del ser humano. *CES Psicología*, 9(1), 109-121. Recuperado de: <https://revistas.ces.edu.co/index.php/psicologia/article/view/3482>
- Blanco, G., y Fuenzalida, M. (2013). La construcción de agendas científicas sobre cambio chileno. En J.C Postigo (Ed). *Cambio climático, movimientos sociales y políticas públicas. Una vinculación necesaria* (pp.75-102). ICAL. Santiago de Chile. Recuperado de: https://www.academia.edu/14484887/La_construcci%C3%B3n_de_agendas_cient%C3%ADficas_sobre_cambio_clim%C3%A1tico_y_su_influencia_en_la_territorializaci%C3%B3n_de_pol%C3%ADticas_p%C3%ABlicas_reflexiones_a_partir_del_caso_chileno
- Cafferatta, N. A. (2004). El principio precautorio. *Gaceta Ecológica*, (73), 5-21. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/539/53907301.pdf>
- Cloquell, M. E. (2012). Nuevo análisis de “La tragedia de los comunes”. *Teoría y praxis*, (11), 40-58. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4561/456145105003.pdf>
- Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1987). Informe de Brundtland. Recuperado de: http://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_1/CMMAD-Informe-Comision-Brundtland-sobre-Medio-Ambiente-Desarrollo.pdf
- Cortina, A. y Navarro M. E. (1996). *Ética* (Vol. 4). Ediciones Akal.
- de Cózar E. J. M. (2005). Principio de precaución y medio ambiente. *Rev. Esp. Salud Pública*, 79(2), 133-144. Recuperado de: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272005000200003&lng=es.
- Demares, M. (2016). La importancia de la gobernanza climática global y de la vigésimo primera Conferencia de las Partes en la lucha contra el Cambio Climático. *Observatorio Medioambiental*, (19), 55-69. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5872384>
- Durán, M. V. y Hervé E. D. (2003). Riesgo ambiental y principio precautorio: breve análisis y proyecciones a partir de dos casos de estudio. *Revista de Derecho Ambiental*, (1), 243-250.
- González, G. É. J. (2012). La representación social del cambio climático: una revisión internacional. *Revista mexicana de investigación educativa*, 17(55), 1035-1062. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662012000400003
- Hardin, G. (1968). “The Tragedy of the Commons”. *Science*, 162, 1243-1248.

- Kwiatkowska, T. (2010). ¿ Que perdure la tierra! Poner en práctica la ética ambiental. En Henk A.M. (Ed). Ética ambiental y políticas internacionales (pp. 175-202).
- Linares, L. P. y Romero L. C. (2008). Economía y medio ambiente: herramientas de valoración ambiental. *Tratado de tributación medioambiental* (pp. 1189-1225). Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2856308>
- Lorenzo, G. R. (s.f.). *La moralidad del ambiente natural y la acción política*. Recuperado de: <https://cupdf.com/document/proyecto-roberto-lorenzo-gonzalez-antropocentrismo-debil-entonces-esta.html>
- Luna, A. (2012). Implicancias de los movimientos sociales en la actual dinámica global ambiental: el caso de Estados Unidos. *Espacio y Desarrollo*, (24), 135-149. Recuperado de: <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espaciodesarrollo/article/view/7589>
- Maliandi, R. (2002). Ética discursiva y ética aplicada. Reflexiones sobre la formación de profesionales. *Revista Iberoamericana de educación*, 29, 105-128. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/800/80002906.pdf>
- Malone, E. L., y Rayner, S. (2001). Role of the research standpoint in integrating global-scale and local-scale research. *Climate Research*, 19(2), 173-178. DOI: 10.3354/cr019173
- Marcos, A. (2001). La ética ambiental. *Universidad de Valladolid*. Recuperado de: <https://cutt.ly/Sm5a5u7>
- Martínez de Anguita, P., Martín, M.A., y Acosta, M. (2003). Los desafíos de la Ética Ambiental. *Memorias*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/251923192_LOS_DESAFIOS_DE_LA_ETICA_AMBIENTAL
- Martínez N. E. (2017). Ethics of development in a globalized world. *Veritas*, (37), 35-50. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-92732017000200035>
- Mota, D. L. y Sandoval F. E..A. (2016). La falacia del desarrollo sustentable, un análisis desde la teoría decolonial. *Iberoamérica Social: Revista-red de estudios sociales*, (VI), 89-104. Recuperado de: <https://iberoamericasocial.com/ojs/index.php/IS/article/view/193>
- Nulman, E. (2015). Brief History of Climate Change Policy and Activism. *Climate Change and Social Movements*, 8-23. DOI:10.1057/9781137468796_2
- Pérez, V. R. (2011). Ambientalismo y desarrollo sustentable: tramas del sistema capitalista. *LiminaR*, 9(2), 181-199. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/liminar/v9n2/v9n2a12.pdf>
- Rachels, J. (2003). *Introducción a la filosofía moral*. (Trad. G. Ortiz Millán). Fondo de Cultura Económica (original en inglés).
- Rosales, R. S. (2009). El discurso del cambio climático y de las medidas de adaptación [Ponencia]. *XI Congreso Nacional de Investigación Educativa*. Recuperado de: http://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v11/docs/area_03/2009.pdf
- Salas, E. M. y Maldonado, E. S. (2020). Breve historia de la ciencia del cambio climático y la respuesta política global: un análisis contextual. *KnE Engineering* 5(2), 717-738. DOI: 10.18502/keg.v5i2.6294
- Sánchez S. N., Lanza E. G., Garduño, R., y Sánchez T. R. (2015). La influencia antropogénica en el Cambio Climático bajo la óptica de los Sistemas Complejos. *Rev. Iberoam. Ciencias*, 2(6), 69-84. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/310426588_La_influencia_antropogenica_en_el_Cambio_Climatico_bajo_la_optica_de_los_Sistemas_Complejos
- Sirvent, M. T. y Rigal, L. (2014). La investigación acción participativa como un modo de hacer ciencia de lo social. *Decisio. Investigación Acción Participativa. Saberes para la acción en educación de adultos*, 38, 7-12. Recuperado de: <https://www.crefal.org/decisio/imagenes/pdf/decisio-48-49/decisio-48-49-art05.pdf>

- Toledo, V. M. y Alarcón C., P. (2012). La etnoecología hoy: panorama, avances, desafíos. *Etnoecológica*, 9(1), 1-16.
- UNESCO. (2017). Declaración de Principios Éticos en relación con el Cambio Climático. París. Recuperado de: http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=49457&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html
- _____. (2019). Principios éticos en relación con el cambio climático. Recuperado de: <https://es.unesco.org/news/principios-eticos-relacion-cambio-climatico>
- Valenzuela, S. C. (2018). Ética de la Tierra y justicia ambiental: Reflexiones en torno a la responsabilidad del ser humano en el devenir actual, desde un enfoque social y filosófico. *Atenea (Concepción)*, (517), 167-180. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-04622018000100167&script=sci_arttext&tlng=e
- Velayos, C. (2008). Ética y cambio climático. España: Desclée de Brouwer.
- Wicks, A. E. (2004). La ética aplicada, sus condiciones de posibilidad y exigencias a las que responde. *Revista de Filosofía*, 60, 19-28.

El reduccionismo científico y su influencia en las políticas internacionales sobre el cambio climático antropogénico

HEBER VÁZQUEZ JIMÉNEZ³⁰

Resumen

La falta de acciones políticas internacionales efectivas respecto al cambio climático antropogénico puede explicarse como el resultado de un sesgo epistémico en la comprensión del problema. Las definiciones jurídicas internacionales sobre el tema están epistémicamente influidas por las explicaciones científicas que reducen el cambio climático antropogénico exclusivamente a factores físicos y propiedades termodinámicas (v. gr. emisiones de gases de efecto invernadero, concentración atmosférica de GEI, sensibilidad climática, etc.), esta perspectiva ignora otros factores biológicos, económicos, sociales y culturales de importancia capital en la explicación causal del problema. Impulsar políticas internacionales efectivas y adecuadas ante el cambio climático antropogénico requiere acciones colectivas, para lo cual es necesario que las sociedades cuenten con información científica pertinente y actualizada lo cual, a su vez, implica la necesidad de impulsar la investigación (básica y aplicada) y la comunicación de las ciencias. La tarea pendiente es producir trabajos inter, trans y multidisciplinarios, democráticos e incluyentes, con impacto y dimensión social que logren cambiar la percepción reduccionista del cambio climático antropogénico.

Palabras clave: Reduccionismo científico; cambio climático antropogénico; percepción pública; acuerdo científico; políticas internacionales.

Abstract

The lack of effective international policies on anthropogenic climate change can be explained as the result of an epistemic bias in the understanding of the problem. International legal definitions on the subject are epistemically influenced by scientific explanations that reduce anthropogenic climate change exclusively to physical factors and thermodynamic properties (e.gr. greenhouse gases emissions, atmospheric concentration of GHG, climate sensitivity,

³⁰ Licenciado en filosofía, Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente estudiante de la Maestría en Filosofía de la Ciencia por la UNAM. Contacto: hvj.efsc@gmail.com

etc.), this approach ignores additional biological, economic, social and cultural factors of paramount importance in the causal explanation of the problem. Fostering effective and suitable international policies on anthropogenic climate change need collective actions that require societies to have access to relevant and updated scientific information, which in turn implies to promote research (basic and applied) as well as science communication. The remaining task is to produce inter-, trans-, and multidisciplinary, democratic and inclusive works with impact and social dimension that will manage to change the reductionist perception of anthropogenic climate change.

Keywords: Scientific reductionism; anthropogenic climate change; public perception; scientific agreement; international policies.

Introducción

¿Por qué las políticas climáticas internacionales están fallando? La tesis aquí defendida es que la ineffectividad o ineficiencia de las políticas internacionales sobre el cambio climático antropogénico puede explicarse como resultado de un sesgo epistémico en la comprensión del problema, a saber, la influencia de un reduccionismo científico a favor de las descripciones de la climatología física sobre las causas y posibles soluciones del cambio climático, lo cual implica no considerar como igualmente relevantes otros procesos, tales como el cambio de uso de suelo, deforestación o procesos sociales no productivos (como las guerras) que también son causantes indirectos del fenómeno.

Si bien las relaciones entre ciencia, sociedad y política son dinámicas y multidireccionales, la manera en que las ciencias describen y explican los fenómenos naturales puede influir directamente en la manera en que las sociedades conciben la realidad así como la terminología y criterios legales sobre lo que se considera relevante para la política internacional sobre cambio climático. El presente texto pretende ser una contribución filosófica cercana a la perspectiva crítica de los estudios de ciencia, tecnología y sociedad (CTS) sobre el tema.³¹

La percepción pública del cambio climático antropogénico

Hacia finales de la primera década del siglo XXI en algunos países occidentales que son grandes productores de petróleo, tales como Estados Unidos, Canadá, Australia y Reino Unido, se registró un aumento en la cantidad de personas que creen que la quema de combustibles fósiles no está relacionada en absoluto con el cambio climático (Klein, 2016, pp. 53-54). ¿Por qué esos datos deberían ser importantes respecto al problema? Porque la percepción social es un factor que produce ciertos comportamientos en las personas, tales como la inacción, ante las causas e impactos del cambio climático.

Un problema de magnitud planetaria requiere una respuesta colectiva y organizada, por lo tanto, política. En las sociedades occidentales, al menos desde el siglo XVII, el paradigma político por excelencia se basa en el llamado “contrato social”, una ficción racional que de acuerdo con uno de sus primeros exponentes —Thomas Hobbes— permite fundar una personalidad jurídica a la cual, gracias a los acuerdos mutuos entre los individuos, se le otorga el derecho a actuar voluntariamente para lograr la defensa y paz colectivas.³² A pesar de que el contractualismo como

31 “Los estudios CTS definen hoy un campo de trabajo reciente y heterogéneo, aunque bien consolidado, de carácter crítico respecto a la tradicional imagen esencialista de la ciencia y la tecnología, y de carácter interdisciplinar por concurrir en él disciplinas como la filosofía y la historia de la ciencia y la tecnología, la sociología del conocimiento científico, la teoría de la educación y la economía del cambio técnico. Los estudios CTS buscan comprender la dimensión social de la ciencia y la tecnología, tanto desde el punto de vista de sus antecedentes sociales [y epistemológicos] como de sus consecuencias sociales y ambientales [...]” (García Palacios *et al.*, 2001, p. 125).

32 “[...] One Person, of whose Acts a great Multitude, by mutuall Covenants one with another, have made themselves every one the Author, to the end he may use the strength and means of them all, as he shall think expedient, for their Peace and Common defence.” (Hobbes, 1965, p. 132).

doctrina política ha presentado algunos cambios en los últimos 350 años, la idea de que la legitimidad de las acciones estatales depende del apoyo de la ciudadanía se mantiene en pie y aún resulta fundamental para las prácticas políticas contemporáneas.

Si bien, por un lado, la idea de un contrato sinalagmático fundacional es aceptada como una hipótesis para justificar la existencia del orden político y de las normas que organizan, estructuran y dirigen la vida pública (*i.e.*, las políticas), por otro lado, es un hecho innegable que la opinión pública es hoy en día un factor importante en la discusión y la legislación de ciertas cuestiones de importancia colectiva. El acceso a la información pertinente y la percepción social de los temas de interés común actualmente son elementos indispensables para la construcción de comunidades políticas y de respuestas ante las dificultades que amenazan su existencia.

La teoría de la cognición cultural del riesgo se ha encargado de estudiar empíricamente la manera en la cual las personas perciben amenazas al orden social en relación con sus valores o creencias personales sobre lo que cuenta como una buena sociedad, así mismo, estudia la manera en que la percepción cultural —supuesta como una estructura cognitiva previa a la percepción racionalizada de hechos— influye en la valoración de la toma de decisiones políticas (Kahan y Braman, 2006, p. 148). La información surgida de esta clase de estudios demuestra que las descripciones científicas de la realidad no siempre tienen preferencia ante la toma de decisiones de las personas o sobre su concepción de una sociedad bien ordenada y justa.

En Estados Unidos, el país con las emisiones de CO₂ per cápita más elevadas del mundo (Crippa *et al.*, 2019, p. 11), los estudios sobre la cognición cultural del cambio climático han mostrado que el apoyo a las políticas climáticas está relacionado con algunas actitudes y creencias fundamentales sobre la responsabilidad humana y la efectividad política, *v. gr.*, creer que el cambio climático es un fenómeno real causado por los seres humanos, que pese a su gravedad es un problema solucionable, que la información científica es confiable, etc., (Krosnik *et al.*, 2006). Estos estudios también han mostrado que una parte considerable de ciudadanos estadounidenses no son capaces de evaluar por sí mismos la información científica sobre el cambio climático y que mientras mayor sea la percepción de que existe un disenso científico sobre el tema están menos inclinados a apoyar las políticas climáticas (Ding *et al.*, 2011, p. 462).

Los estudios de la cognición cultural también se han aplicado a la comunidad científica. Por ejemplo, la investigación de Carlton *et al.*, (2015) se centró en las universidades estadounidenses pertenecientes a la “Conferencia de las diez grandes” (*Big 10 Conference*) de la Asociación Nacional Atlética Universitaria (NCAA, por sus siglas en inglés),³³ las 698 respuestas obtenidas (de un universo de 4 816 científicos) mostraron que el 93.6% de los encuestados cree que las temperaturas se han incrementado respecto a fechas preindustriales y el 91.9% cree que el calentamiento global se debe a emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (en adelante GEI). Cabe resaltar que el 52.04% de los participantes no desarrolla investigaciones sobre el cambio climático o sus impactos. La credibilidad de la ciencia climática obtuvo una calificación de 6.67 sobre 7. Además, el estudio demostró que quienes creen en la existencia del cambio climático y confían más en la ciencia climática son más igualitarios, comunitaristas y liberales que quienes tienen creencias opuestas. Los autores concluyen que los valores culturales sí están relacionados con la creencia en la contribución humana al cambio climático pero su influencia es de menor impacto entre la comunidad científica que entre la opinión pública en general.

³³ La liga actualmente ya no cuenta con las 10 universidades originales sino con 12 que son: Indiana, Michigan, North Western, Ohio, Pennsylvania, Purdue, Illinois, Iowa, Michigan State, Minnesota, Nebraska y Wisconsin

El consenso científico sobre el cambio climático

La ciencia goza de credibilidad y prestigio público porque los científicos someten los resultados de su trabajo a la mirada —crítica o no— de sus pares, es decir, la intersubjetividad es una característica fundamental del quehacer científico:

Exigimos consenso en la ciencia porque tenemos derecho a esperarlo sobre la base de consideraciones pragmáticas inherentes a la disciplina. Los controles que imponemos a través de las reglas básicas de observación, experimento y triangulación teórica son tales que nuestras afirmaciones son siempre accesibles, dondequiera y (en principio) para cualquiera. La misma naturaleza de la disciplina en cuanto a sus datos, sus temas y sus métodos es tal que esperaríamos que sus afirmaciones fueran el foco de acuerdo intersubjetivo. (Rescher, 1995, p. 292).

Si la ciencia es un punto de encuentro epistémico intersubjetivo, podemos preguntar: ¿existe de hecho consenso científico sobre las características y causas del cambio climático antropogénico? Y si existe, ¿es demostrable? Sí, existe y además es demostrable, pues al menos desde la década de 1960 se han aplicado métodos cuantitativos al estudio de la ciencia, “[...] línea de indagación [que] generó una nueva disciplina, la *Cienciometría (Scientometrics)*, que ha tenido gran desarrollo en la segunda mitad del siglo XX y forma parte de los estudios cuantitativos sobre ciencia y tecnología.” (Echeverría, 2003, p. 19).

Hay dos estudios sobre el consenso científico respecto al cambio climático antropogénico que podrían considerarse clásicos. El primero es el trabajo pionero de Naomi Oreskes (2004) quien analizó 928 resúmenes de artículos revisados por pares publicados en revistas científicas entre 1993 y 2003 con la palabra clave “cambio climático global”. Oreskes no encontró ningún resumen con un rechazo explícito al consenso sobre las causas antropogénicas del cambio climático. Si no hay disenso científico sobre el origen humano del calentamiento global, concluye la autora, la única pregunta abierta es sobre las acciones a realizar ante el cambio climático antropogénico.

Puesto que la metodología de Oreskes fue criticada por centrarse sólo en resúmenes pero no en la totalidad de artículos científicos sobre el tema (Doran y Zimmerman, 2009, p. 22), otros estudios buscaron subsanar tales deficiencias. Quizá el estudio más citado sobre el consenso científico sobre la atribución humana del cambio climático es el trabajo de John Cook *et al.*, (2013) pues es, probablemente, el estudio más confiable hasta ahora debido a su alcance y su metodología que evaluó tanto la literatura científica así como la opinión de los autores de los textos estudiados.

Cook *et al.*, (2013) revisaron una muestra de 11 944 resúmenes de artículos revisados por pares, escritos por 20 083 autores y publicados en 1 980 revistas de 91 países, escritos entre 1991 y 2011 con las palabras clave “cambio climático global” o “calentamiento global”. Esta muestra fue evaluada en una primera etapa con dos criterios: (a) determinar el tipo de investigación; (b) determinar el grado de apoyo a la afirmación del cambio climático originado por actividad humana. Los resultados de la primera etapa arrojaron la siguiente información: de 4 014 resúmenes con una posición clara sobre el cambio climático, cerca del 97.1% (3 896) afirman la existencia del calentamiento global antropogénico, el 1.9% (78) rechaza su existencia y el 1% (40) muestra incertidumbre respecto al origen humano del calentamiento global. La cantidad respectiva de autores de esos artículos son: 10 188 a favor de la idea del cambio climático antropogénico, 124 en contra y 44 inseguros. Sin embargo, no menos importantes son los datos sobre publicaciones (y sus respectivos autores) en la categoría “sin posición” respecto a la existencia del calentamiento global antropogénico: 7 930 resúmenes escritos por 18 930 autores de la muestra total estudiada.

Por ello, en una segunda etapa, se pidió a 8 547 autores o primeros autores que autoevaluaran sus artículos (no sólo los resúmenes) con los dos criterios establecidos para la primera etapa. Sin embargo, sólo 1 189 autores o

primeros autores de un total de 2 142 artículos respondieron a la invitación, es decir, sólo un 5.92% del total de autores considerados en la primera etapa y el 17.93% de las publicaciones evaluadas previamente. Los resultados de la segunda etapa son: de 1 381 publicaciones con una posición sobre el cambio climático, el 97.2% (1 342) concuerdan con el origen humano del calentamiento global y el 2.8% restante (39) lo rechaza. Respecto a la cantidad de autores, 746 están a favor de la idea del cambio climático antropogénico, 28 lo niegan y 415 están inseguros.

Existen otros estudios cuantitativos que, por ejemplo, han tratado de medir la diferencia de opinión sostenida por personas con diversos niveles de pericia (*expertise*) en las diversas ramas de las ciencias de la Tierra (Anderegg *et al.*, 2010) o bien, han intentado contrastar la opinión personal de los científicos respecto al tema y que no necesariamente ha sido expresada en los artículos publicados de los cuales han sido autores o coautores (Verheggen *et al.*, 2014).

¿Por qué hay una percepción social de disenso científico?

Los estudios cuantitativos demuestran que es muy difícil encontrar artículos científicos que sostengan abiertamente una postura escéptica o negacionista del cambio climático antropogénico, lo cual se explica por dos razones principales: (1) el pequeño número de autores y publicaciones que manifiestan explícitamente su rechazo a la idea del cambio climático antropogénico y, (2) el poco impacto de tales publicaciones en el medio científico (Anderegg *et al.*, 2010).

Sin embargo, la idea de un disenso científico sobre el cambio climático atribuible a las emisiones antropogénicas de GEI es abundante en los medios de comunicación masiva y en la literatura gris, medios en los cuales se acentúa una característica propia de la investigación científica:

La duda es crucial para la ciencia —en la versión que llamamos curiosidad o escepticismo sano, impulsa la ciencia hacia adelante—, pero también es vulnerable a la distorsión, porque es fácil utilizar inseguridades fuera de contexto y dar la impresión de que *todo* está por resolver. (Oreskes y Conway, 2018, p. 67).

El origen de las posiciones negacionistas sobre el cambio climático es, pese a todo, claramente identificable:

En un estudio de 2013 a cargo de Riley Dunlap y el politólogo Peter Jacques, se halló que nada menos que el 72% de los libros negacionistas climáticos, publicados en su mayoría a partir de la década de 1990, están vinculados a laboratorios de ideas de derecha, una cifra que sube hasta 87% si se excluyen del total los libros autopublicados (cada vez más habituales). (Klein, 2016, p. 57).

Además, Robert Brulle (2013) documentó que entre 2003 y 2010 en Estados Unidos hubo una transferencia de \$900 millones de dólares a 91 organizaciones del movimiento negacionista del cambio climático, gran parte de esa financiación provino de las empresas petroleras estadounidenses Exxon-Mobile y Koch Industries. Tras una polémica desatada por *Greenpeace* y la *Union of Concerned Scientists* en 2008 sobre ese financiamiento, aumentó la cantidad de donadores privados anónimos a las organizaciones negacionistas a tal grado que, pese a los registros públicos, es imposible rastrear la fuente de tales recursos financieros.

¿Por qué la industria del petróleo recurre a instituciones y laboratorios de ideas vinculados a grupos de la derecha del espectro político para distorsionar ante la opinión pública el juicio científico sobre el cambio climático antropogénico? Una primera hipótesis es recurrir a la cognición cultural, según la cual el disenso surge del hecho de que los industriales petroleros sólo aceptan aquello que concuerda con su visión del mundo y de su rechazo a toda evidencia —aun científica— que la contradiga (Klein, 2016, pp. 55-56). Pero, ¿y si es más que una simple cuestión de afinidad sobre la visión del mundo?

Richard Heede (2014) señala que entre 1854 y 2010 (periodo documentable) se emitieron poco más de 914 GtCO₂e lanzadas a la atmósfera por sólo 90 entidades industriales.³⁴ Esta cantidad de GEI representa el 63% del total de emisiones antropógenas de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) hechas durante toda la época industrial (1751-2010). De esas 90 entidades industriales, 56 son productoras de petróleo crudo y gas natural, 37 son extractoras de carbón mineral y 7 son productoras de cemento (Heede, 2014, p. 231). Es decir, las entidades industriales más poderosas y contaminantes del mundo son plenamente identificables. El estudio de Heede indica que la vinculación entre la industria petrolera y laboratorios de ideas de la derecha del espectro político tiene una motivación distinta a la cognición cultural: “Los negacionistas están haciendo algo más que proteger sus cosmovisiones personales: están protegiendo poderosos intereses políticos y económicos [...]” (Klein, 2016, p. 65). La defensa de esos intereses implica la defensa de acciones en el mundo con profundos impactos sobre hábitats y suelos, tales como la agresiva exploración y explotación de combustibles fósiles no convencionales *v.gr.* las arenas bituminosas en Athabasca, Canadá o la obtención de gas natural mediante fractura hidráulica.

La agitación de las aguas de la opinión pública por parte de las grandes empresas productoras de combustibles fósiles les beneficia en tanto que el apoyo social a las políticas climáticas decrece. La percepción social distorsionada respecto al consenso científico sobre el tema demuestra que la mentira tiene efectos políticos, económicos y climáticos concretos.

Breve recuento de políticas internacionales sobre el cambio climático y el ambiente

Algunos descubrimientos científicos entre las décadas de 1960 y 1980 —tales como la lluvia ácida o el agujero en la capa de ozono causado por los clorofluorocarbonos (CFC)— llevaron a las sociedades a la toma de conciencia de la vulnerabilidad del equilibrio ecológico, así como de la dimensión planetaria de la contaminación industrial. Tras la publicación en 1962 de “Primavera silenciosa” de Rachel Carson, en Estados Unidos y Canadá se decretaron más de veintitrés leyes a favor del ambiente entre 1963 y 1980, algo que Naomi Klein ha denominado “la edad de oro de la legislación ambiental” (Klein, 2016, p. 251).

En México también destaca una relativamente intensa legislación ambiental durante el último tercio del siglo XX: en 1971 se promulgó la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación; en 1973 se creó la Comisión Nacional de Obras en Parques Nacionales (CONOPAN); en 1982 se decretó la Ley Federal de Protección al Ambiente; finalmente, destaca la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente promulgada en 1988 (Valverde y Cruz, 2013, pp. 146-147).

A nivel internacional destacan cuatro eventos políticos enfocados en la cuestión ambiental realizados en la década de 1970: (1) Puesta en marcha del Programa del Hombre y la Biósfera impulsado por la UNESCO en 1971 (Valverde y Cruz, 2013, p. 146); (2) la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente, en Estocolmo, Suecia en 1972; (3) creación del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (en adelante PNUMA, por sus siglas en inglés) en 1972; (4) la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima, en Génova, Italia en 1979.

En 1988 se llevaron a cabo dos eventos internacionales centrados en el clima: (1) en Toronto, Canadá, se celebró la Conferencia Mundial sobre la Atmósfera Cambiante, la primera acción política internacional con el objetivo de limitar las emisiones humanas de ciertas sustancias químicas (Klein, 2016, p. 78); (2) la creación del

³⁴ “Concentración de CO₂-equivalente (*CO₂-equivalent (CO₂-eq) concentration*) Concentración de dióxido de carbono (CO₂) que produciría el mismo *forzamiento radiativo* que una mezcla dada de CO₂ y otros componentes de forzamiento. Esos valores pueden tener en cuenta únicamente los gases de efecto invernadero (GEI) o una combinación de GEI, aerosoles y cambio del *albedo* de la superficie.” (IPCC, 2014, p. 130).

Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (en adelante IPCC, por sus siglas en inglés) por parte de la Organización Meteorológica Mundial (en adelante WMO, por sus siglas en inglés) y el PNUMA.

El primer informe de evaluación sobre el conocimiento científico sobre el cambio climático elaborado por el IPCC se presentó en 1990. Dos años después se realizó la Cumbre de Río, también conocida como la Cumbre de la Tierra en la cual se firmaron diversos tratados internacionales para la protección del ambiente y, ese mismo año, se formó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (en adelante CMNUCC) que entró en vigor en 1994 y que se reúne anualmente desde 1995 en las llamadas Conferencias de las Partes (COP). En 1997 con el Protocolo de Kioto la CMNUCC estableció como meta internacional reducir para 2012 las emisiones globales de GEI un 5% menos respecto a las emitidas en 1990 (calculadas en 38 gigatoneladas).³⁵

Esta aparente historia triunfal de legislación ambiental esconde tensas relaciones entre ciencia y política. Si bien es cierto que “Reconocer algo como verdad científica desde un puesto oficial de un Estado implica no sólo una constatación sino la obligación a definir una respuesta determinada.” (Bracho Carpizo, 2013, p. 173), también es el caso que la fuerza de las leyes ambientales, nacionales e internacionales, no reside necesariamente en su conformidad con los conocimientos científicos porque “[...] la ciencia no es un juzgado y los problemas medioambientales entrañan mucho más que ciencia.” (Oreskes y Conway, 2018, p. 131).

Tal como lo señala Giorgio Agamben, las definiciones jurídicas sobre hechos biológicos y médicos —y nosotros agregamos: climáticos— “[...] no son propiamente conceptos científicos, sino conceptos políticos que, en cuanto tales, sólo adquieren un significado preciso por medio de una decisión [soberana].” (Agamben, 2003, p. 208). Es decir, la autoridad de una ley sobre algún tema del mundo natural no emana de la verdad científica sobre el asunto sino del poder soberano de la autoridad política que establece y sanciona dicha ley. Si bien el juicio científico experto sobre ciertos temas es tomado en consideración a la hora de legislar, los alcances y limitaciones de un conjunto de leyes ambientales dependen tanto del éxito en la “traducción” del saber científico a un “lenguaje” jurídico como de las opiniones científicas consultadas y/o tomadas en cuenta.

El fallo de las políticas internacionales sobre cambio climático

A pesar de que las políticas internacionales para contrarrestar las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero (GEI) tienen más de veinticinco años de existencia, sus avances son muy lentos. Durante los últimos cincuenta años las emisiones antrópicas de GEI emitidas por la quema de combustibles fósiles han estado impulsadas principalmente tanto por los usos energéticos e industriales del carbón mineral así como la creciente demanda de energía de los países en vías de desarrollo (Peters *et al.*, 2019). Durante el decenio 2009-2018, las emisiones de la quema de derivados del petróleo usados como combustibles para vehículos terrestres y aviones tuvieron un incremento anual de 104 MtCO₂ y 25 MtCO₂ respectivamente (Peters *et al.*, 2019).³⁶

De acuerdo con los últimos reportes del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, por sus siglas en inglés) sobre la disparidad entre las emisiones reales y la cantidad objetivo de las políticas climáticas, indican que aún existe una brecha importante entre las metas establecidas en el Acuerdo de París (CMNUCC, 2015) y los resultados de la aplicación de las políticas contra las emisiones de GEI antrópicas.

Mientras los modelos climáticos del IPCC señalan que para evitar el incremento de más de 2°C sobre la temperatura preindustrial (tomando el año 1750 como referencia) se deben emitir hasta 35 Gt de GEI anuales, los

35 Gigatonelada: 1 Gt= 1x10⁹ toneladas = mil millones de toneladas métricas.

36 Megatonelada: 1 Mt= 1x10⁶ toneladas = un millón de toneladas métricas

registros indican que en 2016 se emitieron a nivel mundial 51.9 Gt de GEI a la atmósfera (UNEP, 2017, p. 15), en 2017 la cantidad de emisiones antropógenas de GEI fue de 53.5 GtCO₂e (UNEP, 2018, p. XVII), en 2018 se emitieron mundialmente 55.3 GtCO₂e de GEI (UNEP, 2019, p. XIV) y en 2019 las emisiones de GEI antrópicas alcanzó la cifra de 59.1 GtCO₂e (UNEP, 2020, p. XIV).

¿Cuáles pueden ser algunos de los factores que han conducido al fallo de las políticas climáticas internacionales? Sin duda alguna, la dificultad material y económica para implementar acciones a escala global es un factor importante, al igual que las incertidumbres sobre los escenarios climáticos futuros. Sin embargo, aquí no consideramos que, por un lado, sea una cuestión puramente técnica el factor explicativo de dicho fallo; por otro lado, tampoco se considera aquí que la solución sea simplemente llegar a acuerdos que produzcan coerción mutua y eviten que la libertad irrestricta conlleve al uso y/o consumo desmedido de los recursos finitos del planeta, tal como lo propuso en su momento, si bien inspirado por otros problemas sociales y ambientales, Garret Harding (1968).

En este trabajo afirmamos que la manera en que el cambio climático antropogénico ha sido descrito por la climatología física es uno de los factores decisivos sobre el alcance y enfoque de las políticas climáticas internacionales, hecho que denominamos sesgo epistémico en la percepción política del cambio climático. No significa que la descripción de la climatología física sea falsa o errónea, sino que no es absoluta porque no describe la totalidad de los impulsores antrópicos directos e indirectos que generan los gases de efecto invernadero que causan el forzamiento radiativo. Si bien este sesgo epistémico no es el único factor explicativo del fallo de las políticas climáticas internacionales, su comprensión puede estimular las respuestas creativas e incluyentes tanto de diversas áreas científicas y humanísticas así como de la ciudadanía.³⁷

Las relaciones entre ciencia y política

Las relaciones entre la autoridad epistémica de la ciencia y la autoridad práctica-coercitiva de la política no tiene un único modelo que se siga *a priori* en todos los casos. Por ello, es necesario revisar críticamente la manera en que las ciencias y la política se relacionan respecto a problemas ambientales, pues ni toda descripción científica otorga certezas, ni toda política es correcta alejada de consideraciones científicas sobre ciertos hechos o fenómenos.

La relación entre ciencia y política para el establecimiento de normativas ambientales no es unidireccional ni establece siempre jerarquías de subordinación en un mismo plano de un ámbito a otro, pues determinar los daños ambientales causados por la producción industrial —motor económico de las sociedades contemporáneas pero también origen y principal fuente de emisiones de GEI antropogénicas— así como proponer soluciones es algo que requiere juicios valorativos y técnicos de campos disímiles, tanto de las opciones disponibles, de los costes materiales y sociales de implementación así como de las normas vigentes y la coyuntura política. De acuerdo con Oppenheimer *et al.*, (2019) existen dos visiones sobre la relación entre ciencia y política: (a) la visión tradicional negaría que existe algún tipo de comunicación después de la consulta técnica a las ciencias por parte de los políticos; (b) una visión más flexible que afirma que las fronteras de las ciencias y la política son permeables y que, por lo tanto, hay influencias mutuas y diversos canales de comunicación, tanto oficiales como de negociación extraoficial.

³⁷ La inacción política ante el cambio climático antropogénico puede explicarse también como resultado de una falsa impresión de “normalidad” ambiental, es decir, por la percepción de los ecosistemas como imperturbables a pesar de las acciones humanas, cuando en realidad la estabilidad de tales sistemas se debe a su resiliencia (*i.e.* ya sea o bien por su flexibilidad o bien porque alcanzan nuevos puntos de continuidad). Este argumento lo debo a la doctora Mariana Esther Martínez Sánchez, a quien agradezco por haberme hecho reparar en ello, sin embargo, esa vía explicativa, fecunda y extensa, queda más allá de los modestos límites de este trabajo.

Por otro lado, lo que sí ocurre es que el acceso epistémico, la explicación y la caracterización científica de un fenómeno problemático puede influir en los términos utilizados como definiciones en los corpus jurídico-políticos establecidos para su solución. Aquí sostenemos que una influencia semejante ha ocurrido en las políticas internacionales del cambio climático antropogénico a favor de descripciones científicamente reduccionistas, *i.e.* explicaciones que pretenden explicar el fenómeno sólo en términos de la climatología física.

Así como la falsa idea de “disenso científico” fomentada por empresas petroleras influye en la percepción social del cambio climático entre amplios sectores sociales de países productores de petróleo, de una manera análoga, una descripción reducida y centrada sólo en procesos descritos por la climatología física influye en el lenguaje de documentos jurídicos y en el tipo de medidas políticas internacionales promovidas como solución. Mientras en el primer caso la mentira limita el apoyo social a políticas climáticas, en el segundo caso una perspectiva reduccionista, o una verdad parcial, puede desviar la atención y los esfuerzos de mitigación hacia sólo uno de los diferentes factores causales del cambio climático antropogénico.

¿Qué es el reduccionismo científico según la filosofía de la ciencia?

Si bien la discusión sobre el reduccionismo científico puede remontarse al siglo XVII —bajo la idea de que todo fenómeno podía explicarse o retrotraerse a las interacciones y propiedades de corpúsculos (Sarkar, 1998, p. 16)— no será sino hasta el siglo XX cuando la filosofía de la ciencia verá en la reducción teórica una herramienta útil ya sea para unificar a la ciencia o bien para explicar teorías científicas por medio de otras provenientes de ámbitos disciplinares distintos.

Sahotra Sarkar afirma que durante la segunda mitad del siglo XX la reducción teórica fue tratada generalmente con los mismos criterios que la explicación científica asumiendo lo siguiente: (1) la explicación es una representación de un sistema a explicar; (2) se explica sólo una parte del sistema; (3) la explicación de una representación implica un razonamiento científico llamado “derivación” —término vago y de precisión variable—; (4) la explicación requiere de un conjunto de factores relevantes, dependientes del contexto y determinantes para el tipo de explicación dada (Sarkar, 1998, pp. 41-43). Por lo anterior, la reflexión filosófica de la reducción científica está imbricada con las teorías sobre la explicación aunque aún se debate si son lo mismo.

Tras la publicación en 1948 del artículo *Studies in the logic of explanation* de Carl Hempel y Paul Oppenheim, en palabras de Wesley Salmon, se separó la prehistoria y comenzó la historia de las discusiones modernas sobre la explicación científica (Salmon, 2006, p. 10) y se fundó la así llamada concepción heredada (*received view*) que estableció al modelo nomológico deductivo (en adelante ND) como la base para dilucidar la naturaleza del conocimiento científico.

Para el modelo ND el conocimiento científico es sistemático, ordenado, no contradictorio, abstracto y metódico, cuya tarea principal es ofrecer explicaciones y predicciones sistemáticas y sustentadas sobre los hechos observables del mundo (Nagel, 2006, pp. 19 y ss.). Por ello, una de las tareas fundamentales de la filosofía de la ciencia fue dilucidar qué es la explicación científica.

“Las explicaciones son respuestas a la pregunta «¿por qué?»” (Nagel, 2006, p. 35). El modelo ND afirma que la explicación es un proceso lógico —*i.e.* inferencial— en el cual el hecho a explicar (*explanandum*) es la conclusión de un argumento en el cual dentro de las premisas explicativas (*explanans*) hay por lo menos un enunciado universal de la forma (x) [Ax \supset Bx] que debe ser una ley presente en una teoría científica y no una mera generalización accidental o contingente (Salmon, 2006, p. 13; Woodward, 2017). Por ello, el modelo ND y algunas propuestas posteriores se ocuparon de la llamada “lógica” de la explicación científica.

Bajo las preocupaciones formalistas, entonces, la reducción teórica se consideró el análisis inferencial de las relaciones interteóricas entre una teoría explicada o reducida (que sería el *explanandum*) y la teoría explicativa o reductora (que sería el *explanans*) (Schaffner, 1967, p. 137). Tal modelo de reducción centrado en el tratamiento lógico-formal inició en 1949 con el trabajo de Ernst Nagel y se afianzó con la obra de Joseph H. Woodger de 1953, modelo cuyas críticas subsiguientes dieron lugar a diferentes propuestas cuya exposición detallada queda fuera del alcance de este trabajo.³⁸ El formalismo y la reconstrucción racional de la ciencia hecha por la filosofía tuvieron diversos partidarios, entre ellos Michael Ruse para quien el proyecto de la concepción heredada era legítimo en tanto que —afirmó— la ciencia y la filosofía tienen tareas diferentes (Ruse, 1974, p. 630): las herramientas lógicas de la filosofía analítica no sólo permiten comprender el funcionamiento de la ciencia sino que, además, son capaces de iluminar diferencias teóricas cuando a nivel empírico dos teorías son indecidibles.

Por otro lado, algunas de las críticas más agudas al modelo formalista de la reducción teórica fueron hechas por David Hull quien señaló que el empirismo lógico, así como las propuestas de sus herederos (Nagel, Woodger, Schaffner), fue filosóficamente dañino en tanto que esta perspectiva es incapaz de matizar las diferencias sustanciales entre las teorías al ignorar tanto la dimensión temporal de la ciencia así como los cambios en los procedimientos, los problemas y presupuestos que dan lugar a las teorías (Hull, 1974, p. 657). Dado lo anterior, Hull considera que deben existir ciertas restricciones a la tarea filosófica de la reconstrucción racional de la ciencia: (1) no consultar los libros de texto —ya que éstos suelen presentar a las teorías científicas como hechos completos y ahistóricos—; y (2) referirse a los procesos reales de la investigación científica (Hull, 1974, pp. 654-655).

Además del tratamiento formal de cuestiones semánticas y sintácticas existe otra perspectiva centrada en cuestiones sustanciales. De acuerdo con Sahotra Sarkar las cuestiones sustantivas son aquellas filosóficas o científicamente relevantes para la interpretación de argumentos y las asunciones sobre el mundo (Sarkar, 1998, p. 19).

Sobre la reducción se asumen generalmente dos afirmaciones: (1) la reducción implica la explicación de leyes y fenómenos de un ámbito en otro; (2) muchos intentos de reducción son intentos de explicación de totalidades por medio de sus partes constitutivas. Sarkar considera que es necesario separar y clarificar los criterios de reducción de los criterios de explicación con lo cual es posible identificar tres criterios sustanciales que se cumplen total o parcialmente según los distintos tipos de reducción: fundamentalismo, jerarquía abstracta y jerarquía espacial. Por no ser nuestro objetivo exponer detalladamente ni defender la propuesta de Sarkar, aquí sólo mencionaremos algunas de las características sustantivas mencionadas por el autor y que son de interés para nuestra argumentación:

- Fundamentalismo: Se asume que los factores explicativos y las reglas de otro dominio son fundamentales en comparación con el original estudiado. Para ello, se asume que sólo se pueden utilizar justificadamente procedimientos lógicos, matemáticos o computacionales.
- Eliminación epistémica: cuando hay reducción teórica se podría prescindir de ciertas entidades, aunque de hecho es poco probable que ocurra el reemplazo total de una teoría por otra, *v.gr.* la mecánica newtoniana aún se utiliza a pesar de la mecánica relativista.
- Eliminación ontológica: existe una reducción fuerte de entidades teóricas que explican los fenómenos del mundo. Es decir, se elimina la “existencia” de entidades teóricas no elementales a favor de otras entidades

³⁸ Por no ser nuestro objetivo exponer las diversas caracterizaciones filosóficas sobre la reducción teórica, aquí sólo mencionamos las propuestas que Kenneth Schaffner consideró paradigmáticas: Kemeny y Oppenheim; Popper, Feyerabend y Kuhn; Suppes; (Schaffner, 1967, pp. 138-139); así también, mencionamos las propuestas de las que da cuenta Sahotra Sarkar: W. Balzer y C. M. Dawe; William Wimsatt; Sarkar; Stuart Kauffman (Sarkar, 1998, pp. 28-29).

- consideradas básicas y fundamentales.
- Valor de las reducciones: las reducciones son significativas si cumplen con tres criterios: (1) no son *ad hoc*; (2) la teoría reductora es fértil; (3) debe haber un apoyo en el desarrollo de la teoría reductora y reducida.

En este trabajo entenderemos por reduccionismo de teorías o reduccionismo científico al procedimiento científico y/o a la interpretación filosófica de los procedimientos científicos —no necesariamente formalizados lógicamente o matemáticamente— en el cual hechos o fenómenos estudiados por un campo científico particular son definidos o explicados por los términos, teorías, leyes, ecuaciones, modelos, esquemas, mecanismos, etc., de otro campo científico.

Existe otro tipo de reduccionismo que puede llamarse “reduccionismo metafísico” que generalmente acompaña a visiones científicas radicales y que pretende explicar la totalidad de lo real desde una sola disciplina o teoría científica:

Las teorías «fundamentales» serían, entonces, aquellas que brindan la mejor descripción de la realidad tal como sería en sí misma, mientras que las teorías «fenomenológicas» o las disciplinas «secundarias» sólo describirían los hechos y objetos tal como se nos aparecen. Este supuesto se encuentra en la base del afán de erigir a la física en metafísica, afán que puede detectarse en algunos físicos y en la gran mayoría de los filósofos que defienden el realismo científico. (Lombardi y Pérez, 2012, p. 107).

El reduccionismo científico, si se sigue a rajatabla, puede dar lugar al reduccionismo metafísico y éste, a su vez, puede desembocar en una pretensión de dominio disciplinar, es decir en una tendencia a jerarquizar saberes —estableciendo subordinaciones o primacías temporales, espaciales, lógicas, epistémicas y/o metodológicas en la manera de explicar el mundo— o a envolver y diluir unas disciplinas en otras.

El reduccionismo científico y la exclusión de la ciudadanía de las discusiones ambientales

Los conocimientos científicos relevantes para establecer políticas climáticas hasta ahora provienen en gran medida de las ciencias naturales, mientras que los aportes de las ciencias sociales y las humanidades han quedado relativamente al margen (Irwin, 2010, p. 4), además de que la voz de la ciudadanía no siempre es tomada en cuenta en pie de igualdad política, *v.gr.* la COP 15 de 2009 en Copenhague. Esto puede explicarse por la manera en que las ciencias atmosféricas se desarrollaron durante el siglo XX: siempre cerca de intereses políticos y/o militares al menos desde la Primera Guerra Mundial —cuando el conocimiento meteorológico se incorporó como un elemento fundamental de la organización militar en los países occidentales (Nebeker, 1995, p. 83)— hasta la Guerra Fría.

Después de la Segunda Guerra Mundial, en Estados Unidos, se financiaron grandes proyectos de investigación en ciencias atmosféricas debido a los intereses en (1) modelar y predecir la circulación de las partículas radioactivas tras las explosiones de las armas nucleares; (2) modificar el clima; (3) predecir el estado del tiempo; (4) medir los niveles de CO₂ atmosférico (Howe, 2014, p. 27). Estos proyectos de macrociencia (*Big science*), además de aportar financiamiento, comprometían a los científicos a buscar soluciones a dificultades técnicas que rara vez eran vistos también como problemas sociales y ambientales, como lo ilustra el caso de los proyectos de transporte supersónico de pasajeros (SST, por sus siglas en inglés), (Howe, 2014, p. 60). Así, la década de 1970 marcó el distanciamiento institucional y político de las agendas científicas respecto a las preocupaciones ciudadanas sobre temas ambientales, vías que recorrieron trayectorias distintas durante varios años antes de volver a convergir.

Tal vez el éxito del Proyecto Manhattan sea el factor sociológico que explique el “entronizamiento” de la física como la ciencia natural “fundamental” durante la segunda mitad del siglo XX, es decir, considerar que todo el

conocimiento científico puede reducirse a la física o ser explicado enteramente en términos de teorías, leyes o entidades físicas. A esta perspectiva se sumó la idealización de la ciencia como una tarea absolutamente objetiva y, por lo tanto, políticamente neutra que necesita tomar distancia de las sociedades en las que se desarrolla para poder lograr sus objetivos epistémicos, un “divorcio” político que debilitó muchas demandas sociales respecto a cuestiones que requerían de juicios científicos expertos. Esta visión, que Philip Kitcher ha denominado “la leyenda”, es un discurso triunfalista, apologético de la ciencia y los científicos y que además defiende la idea de una acumulación, de un progreso y una racionalidad específica y suprema de la práctica científica (Kitcher, 1993).

Respecto a las cuestiones climáticas, la idealización de la ciencia significó el dominio absoluto de la climatología física, es decir, la explicación y modelación, en términos de leyes físicas, del comportamiento de los elementos del sistema climático terrestre (temperatura, intercambio de calor, sensibilidad climática, etc.), tarea en la cual contribuyó de manera significativa el uso de las primeras computadoras electrónicas para la elaboración de modelos matemáticos (Howe, 2014, pp. 27 y ss.).

Suponer que las respuestas políticas a problemas ambientales sólo podían provenir de su comprensión científica especializada alejó a ciertas comunidades científicas de los grupos ambientalistas y de activismo ciudadano desde la década de 1970 en los países de Occidente (Howe, 2014, pp. 94 y ss.). Aquí surge un problema sociopolítico importante. Que haya problemas cuya solución técnica y epistémicamente fundada recurra al juicio experto de las ciencias muchas veces entra en conflicto con lo que la ciudadanía, carente de una formación especializada, considera un curso de acción razonable y justo. Por ejemplo, hay sectores sociales históricamente marginados —como los pueblos originarios— que son poseedores de saberes y prácticas empíricamente igual o más efectivas para la mitigación y adaptación ante el cambio climático antropogénico (Dooley *et al.*, 2018). La solución a problemas colectivos no sólo requiere el mejor conocimiento disponible sino también de: (1) un diálogo abierto y tolerante de saberes; (2) participación democrática respetuosa e incluyente de la diversidad humana; (3) acuerdos en común con todas las partes interesadas.

El sesgo epistémico en la percepción política del cambio climático

Lo que aquí llamamos sesgo epistémico en la percepción política del cambio climático es el hecho de que la manera en que el cambio climático ha sido descrito y explicado por los grupos científicos expertos que guían y/o asesoran a los grupos políticos internacionales ha determinado qué elementos climáticos son considerados relevantes o primordiales en términos políticos, mientras que ha ignorado otros o los ha considerado secundarios. Las descripciones de la climatología física, epistémicamente fundados y correctos, no bastan para describir los complejos procesos socioeconómicos que, de manera indirecta, impulsan la causa física directa del forzamiento climático (*i.e.* el aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero).

Ahora bien, aquí no se niega que el sistema climático dependa de elementos geofísicos explicables por medio de leyes físicas sino que se resalta que una descripción reducida exclusivamente a términos físicos (“emisiones”, “forzamiento radiativo”, etc.) deja de lado procesos bioquímicos y ecológicos que también juegan un papel fundamental en el sistema climático terrestre y que están siendo afectados por procesos socioeconómicos complejos.³⁹ Esto es importante porque, entonces, una perspectiva científica reduccionista en su terminología explicativa influye en la terminología jurídica sobre cuál es el problema y cuáles son las soluciones correctas o las únicas consideradas como propuestas relevantes de intervención. La manera de describir la realidad implica un sesgo respecto a lo que se considera importante y posible.

³⁹ Dejamos fuera de este trabajo la difícil e ingente discusión sobre si la biología, la química y otras ciencias pueden o deben reducirse a la física. Baste señalar que asumimos que una reducción radical entre las ciencias, hoy por hoy, no parece ser el caso.

Los acuerdos políticos internacionales en asuntos climáticos no establecen definiciones de lo que, de hecho, objetiva o científicamente sea el cambio climático antropogénico, sino que definen criterios respecto a lo que se debe hacer o no hacer para solucionarlo. En otras palabras, la política del cambio climático antropogénico está sesgada en la medida en que la terminología jurídica establece criterios de acción respecto a lo que se considera la mejor explicación científica del problema y la que se ha considerado objetivamente relevante ignorando otros factores, que de hecho, también juegan un papel clave en el forzamiento del sistema climático.

Si una explicación científica sólo considera relevante los factores inmediatos causantes del cambio climático (millones de toneladas de gases de efecto invernadero extra en la atmósfera terrestre) pero ignora las causas subyacentes o indirectas de esos factores (producción industrial intensiva en la quema de combustibles fósiles, cambio de uso de suelo para agricultura, minería, construcción, etc.) —ya sea porque están fuera de su dominio disciplinar o porque no puede explicarlos con los mismos principios que a los factores directos— entonces hay un sesgo o una falta de información importante. Por lo tanto, las políticas que se elaboren sobre la base de un juicio científico parcial presentarán necesariamente un sesgo o al menos una laguna en la información que podría ser el factor clave en la solución al problema climático.

El caso del primer informe del IPCC y su influencia en la CMNUCC

La influencia de la descripción de la climatología física sobre las políticas climáticas internacionales es evidente cuando se compara el texto del Primer Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) de 1990 con el texto fundacional de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

El primer informe del IPCC afirma:

Las fluctuaciones del clima se presentan en varias escalas como resultado de procesos naturales; esto es a menudo relacionado con una **variabilidad climática** natural. El **cambio climático** sobre el cual tratamos en este reporte es aquel que puede suceder el próximo siglo como resultado de las actividades humanas. (IPCC, 1990, p. XXXVI).⁴⁰

Por su parte, la CMNUCC establece:

Por «cambio climático» se entiende 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.” (CMNUCC, 1992, p. 3).

Todo parece indicar que en la redacción de las políticas climáticas internacionales en 1992 hubo un sesgo epistémico en la percepción política del cambio climático por una clara influencia del reduccionismo científico centrado en los impulsores físicos inmediatos:

El objetivo último de la presente Convención y de todo instrumento jurídico conexas que adopte la Conferencia de las Partes, es lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. (CMNUCC, 1992, p. 4).

40 “Fluctuations of climate occur on many scales as a result of natural processes; this is often referred to a natural **climate variability**. The **climate change** which we are addressing in this report is that which may occur over the next century as a result of human activities.” (IPCC, 1990, p. XXXVI).

La terminología *causal* empleada sólo refiere a “emisiones”, “concentraciones atmosféricas” pero está ausente la “biósfera” y no hay mención alguna a detener el cambio de uso de suelo o los daños directos sobre los ecosistemas como una solución a la *causa* del problema. Si bien puede argumentarse que esa perspectiva se corresponde con el estado de la cuestión (*state of the art*) de los conocimientos científicos de la época, no es menos cierto que la definición científica del problema sirvió de guía a la definición jurídica internacional que sancionó los factores relevantes respecto a la cuestión.

El sesgo epistémico en la percepción política del cambio climático puede entenderse en este ejemplo como el resultado del énfasis en los *impulsores causales directos* del cambio climático y poco acento en los impulsores causales indirectos. Es decir, las descripciones de la climatología física no pueden aumentar la resolución del análisis sobre las causas del cambio climático y, por ello, su explicación se reduce a factores netamente físicos, a saber, el aumento en la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero (GEI) que, al aumentar la cantidad de radiación terrestre de onda corta absorbida, causan un forzamiento radiativo positivo que cambia el balance energético del planeta con el consecuente aumento de temperatura promedio de la superficie terrestre. Por otro lado, los *impulsores causales indirectos* del cambio climático son todas aquellas actividades humanas que emiten GEI y que son resultado de complejas interacciones y motivaciones que no son descriptibles en simples términos físicos ni climatológicos —tales como la creencia en el aumento infinito de riqueza, las transacciones económicas de bienes y servicios materiales y financiero-especulativos, el monocultivo agroindustrial, la destrucción de bosques y selvas para construcción de zonas industriales o residenciales, etcétera—. La explicación de los impulsores indirectos aún es susceptible de una granularidad más fina y de aumentar la resolución de sus explicaciones por medio de otras disciplinas que no son la climatología física. Los impulsores indirectos han sido ignorados o no han sido mencionados como causas del cambio climático a pesar de ser cognoscibles, descriptibles y explicables científicamente.

Bastan dos ejemplos para mostrar el impacto de esos impulsores indirectos.

Algunos estudios realizados principalmente desde las ciencias sociales han mostrado la profunda huella de carbono de ciertos fenómenos sociales que no necesariamente son procesos de producción de bienes, por ejemplo, las guerras. Hay estudios que afirman que el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América es la institución que más combustibles fósiles consume a nivel mundial. Durante el periodo de 2001 a 2017 (*i.e.* desde la invasión estadounidense y de la OTAN a Afganistán hasta las operaciones militares en Siria) las fuerzas armadas estadounidenses emitieron ~ 1.2 GtCO₂e de GEI (Crawford, 2019, p. 2), lo cual las colocó en 2014 en el lugar 47 de los mayores emisores de GEI antropogénicos a nivel mundial, superando las emisiones de países enteros como Rumania, Grecia o Israel (Belcher *et al.*, 2019, p. 8).

Por otro lado, hoy sabemos que el cambio de uso de suelo y la deforestación: (1) son la causa de $\sim 20\%$ de las emisiones de gases de efecto invernadero desde inicios del siglo XX (Hansen *et al.*, 2013, p. 10); (2) durante el decenio de 2007 a 2016 fueron la fuente de 12 ± 2.9 GtCO₂e anuales de GEI (IPCC, 2019, p. 8). Lo anterior es importante en tanto que la velocidad en el incremento de los niveles atmosféricos de CO₂ —cuya tasa de crecimiento no tiene precedente alguno en los registros paleoclimáticos— junto a los efectos de la degradación de la biósfera por las actividades humanas, pueden desencadenar puntos de inflexión climáticos que lleven a la Tierra a un calentamiento planetario autosustentado (Steffen *et al.*, 2018, p. 3). El daño directo a la biósfera también contribuye al cambio climático sin que, en este caso, haya una afectación inmediata y directa a la atmósfera por parte de los seres humanos. El cambio de uso de suelo y la pérdida de biota no es algo que pueda ser descrito en términos puramente climatológicos y, sin embargo, es un impulsor importante del cambio climático.

Si bien es enteramente posible reducir emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero por sectores económicos y sociales específicos, sería más efectivo replantearse la necesidad de seguir promoviendo algunas de esas actividades. De cara a mitigar las emisiones antrópicas de GEI es más efectivo promover la paz mundial que tener tanques de guerra de última generación bajos en emisiones; es más efectivo recuperar espacios urbanos que continuar con el cambio de uso de suelo tanto para construir como para obtener los minerales necesarios para producir más cemento. Es decir, es más efectivo detener los impulsores causales indirectos del cambio climático que atender sólo las cantidades de GEI antrópicas atribuidas con mayor o menor precisión a sectores específicos. Además, esto permite ir más allá de la sobresimplificación de responsabilidades, pues no es igualmente responsable quien usa un automóvil para desplazarse a su fuente de trabajo que quien pilota un jet de combate para mantener abiertas las rutas internacionales de comercio de petróleo en el Medio Oriente; no hay igual responsabilidad en quien decide comer un poco de carne que quien destruye ecosistemas enteros para obtener gas por fractura hidráulica con tal de aumentar los números de contabilidad de su empresa. Enfocarse sólo en los impulsores directos del cambio climático antropogénico (emisiones de GEI) diluye las diferencias reales del impacto ambiental y social causados por los impulsores indirectos.

El reto: la construcción plural de respuestas ante el cambio climático

Algunos científicos han advertido públicamente en fechas recientes que la trayectoria actual de la civilización nos puede conducir en el futuro mediano a una catástrofe planetaria, situación que es evitable si se implementan acciones que garanticen la sustentabilidad y de una vida humana más equitativa. Realizar un cambio en la trayectoria socioambiental sólo puede lograrse con presión política por parte de la ciudadanía sobre la base de evidencia científica —para reconocer la dimensión del daño antrópico y de opciones reales de respuesta—, con liderazgo social y la elaboración de propuestas políticas y económicas concretas (Ripple *et al.*, 2017, pp. 1-3).

Recientemente la Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (en adelante IPBES, por sus siglas en inglés) señaló que las cinco mayores causas del cambio acelerado sobre la naturaleza en los últimos cincuenta años son: (1) el cambio de uso de suelo y agua; (2) la explotación directa de organismos vivos; (3) la contaminación; (4) la invasión de especies exóticas; (5) el cambio climático (IPBES, 2019, p. 10). El informe de la IPBES también indica que las actividades humanas y sus efectos ambientales ponen en riesgo de extinción a 1 millón de especies de seres vivos de un total estimado de 8 millones (IPBES, 2019, p. 13), lo que significa una amenaza directa a los procesos ecológicos y servicios ambientales del que depende el bienestar humano, tales como el aire limpio, agua dulce, suelos fértiles, regulación climática, polinización, biomasa y plantas medicinales (IPBES, 2019, p. 1). Por ello, frenar las causas directas del daño ambiental implica, entre otras cosas, efectuar cambios radicales en el sistema económico y financiero a nivel mundial que permita pasar de un paradigma del crecimiento de riqueza hacia uno basado en la sustentabilidad y la reducción de inequidades sociales (IPBES, 2019, p. 9; Ripple *et al.*, 2017, p. 3).

La búsqueda de soluciones a un problema global requiere de la cooperación y coordinación entre diversas disciplinas para generar alternativas adecuadas a los distintos contextos. Aquí se sugiere que, además de incrementar el financiamiento a la investigación básica y aplicada de diversas ramas científicas, se promueva y fortalezca el trabajo de difusión científica y humanística para poner al alcance de la ciudadanía los datos e información pertinente respecto a la mitigación y adaptación al cambio climático antropogénico, así como acciones políticas social y ambientalmente responsables. Por ello, también se sugiere multiplicar y abrir los foros de discusión y cooperación para que, con el intercambio de información, ideas y perspectivas, se generen respuestas más robustas pero

equitativas, con dimensión e impacto social. Es decir, fortalecer los trabajos académico-profesionales inter, trans y multidisciplinarios que eviten posturas reduccionistas, pero también fomentar la participación ciudadana, de manera democrática, crítica, tolerante, responsable e incluyente.

Conclusiones

Las políticas internacionales sobre el cambio climático antropogénico requieren de apoyo social para ser efectivas, sin embargo, el respaldo ciudadano es afectado por la imagen pública de la ciencia. Una percepción del conocimiento científico como demasiado oscuro o de la falta de consenso entre expertos mina considerablemente el apoyo social a las políticas climáticas, independientemente de la verdad o realidad de los hechos. Sin embargo, verdades parciales pueden ser también un obstáculo para la efectividad de las políticas climáticas de mitigación.

Es innegable que los tomadores de decisiones (*policy makers*) requieren de la asesoría epistémica científica, sin embargo, ésta no debería provenir de una sola perspectiva ni estancarse en explicaciones reduccionistas. La información científica tomada en cuenta para las políticas climáticas internacionales debería ser plural e integrar las perspectivas de las ciencias biológicas y sociales. Además, tal información científica debería ser de libre y fácil acceso a la ciudadanía para alcanzar tanto la legitimidad política así como lograr la cooperación cívica necesaria para hacer efectivas las políticas climáticas.

La comunicación de las ciencias, así como la labor de las humanidades y otros saberes no disciplinares, son factores fundamentales para lograr la movilización social que no sólo apoye las políticas climáticas nacionales e internacionales sino que también permita que las personas se integren a la búsqueda y construcción de soluciones de adaptación y mitigación del cambio climático que sean oportunas, efectivas, sustancialmente equitativas, adecuadas al contexto y con una irrenunciable dimensión social.

En este trabajo se ha mostrado la relevancia política de las explicaciones científicas sobre problemas ambientales. Podemos afirmar que en el caso del cambio climático antropogénico ocurrió un sesgo epistémico reduccionista en tanto que se ha privilegiado la explicación de la climatología física sobre las causas del cambio climático antrópico.

Las explicaciones científicas tomadas en cuenta para la elaboración de políticas climáticas internacionales se han enfocado primordialmente en el aumento de la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero (GEI) pero ha dejado fuera de foco a los impulsores indirectos o “causas segundas” de esas emisiones: daño a la biósfera por cambios de uso de suelo y procesos sociales (no necesariamente productivos) así como procesos industriales. Esto no significa que las explicaciones de la climatología física sean erróneas o falsas, sino que son explicaciones parciales de todos los impulsores que en su conjunto están forzando al clima a cambiar.

Mientras desde un punto de vista de la climatología física es imposible aumentar la resolución en las explicaciones causales del cambio climático más allá del aumento de las concentraciones atmosféricas del GEI, desde otras ciencias y disciplinas sí es posible aumentar la granularidad explicativa de los impulsores indirectos del fenómeno. Empero, es la explicación reduccionista la que ha sido plasmada en los documentos más importantes de política climática internacional, tal como la CMNUCC en la cual se habla, en general, de “emisiones” desconectadas de sus contextos materiales, sociales, económicos y políticos particulares que son sus fuentes primarias.

Un sesgo epistémico en la concepción política del cambio climático es uno de los factores que contribuye al fracaso de las políticas climáticas internacionales de mitigación en tanto que hablar de “emisiones” descontextualizadas lleva a exigencias de mitigación desiguales y a discursos simplistas de atribución de responsabilidades. Ir más allá de los impulsores inmediatos del cambio climático obliga a buscar soluciones políticamente plurales, incluyentes,

equitativas y con una dimensión social.

Una línea de investigación abierta para la filosofía de la ciencia es dilucidar si en efecto en las ciencias atmosféricas ha ocurrido un reduccionismo o un proceso de unificación teórica; también queda abierta la línea de investigación sobre la comunicación y percepción del cambio climático en grupos sociales diversos.

La reflexión interdisciplinaria y la mirada crítica de los estudios CTS y la filosofía son perspectivas necesarias para dilucidar los criterios normativos presentes en las complejas interacciones entre las diversas ciencias particulares y su entorno social, cultural y político. No son meros instrumentos académicos sino que también son herramientas que pueden ayudar a formular e integrar soluciones colectivas ante una de las mayores amenazas existenciales de la humanidad, tal como lo es el cambio climático antropogénico.

Referencias

- Agamben, G. (2003). *Homo Sacer I. El poder soberano y la nuda vida* [1995]. Valencia: Pre-textos.
- Anderegg, W. R., Prall, J. W., Harold, J. y Schneider, S. H., (2010). Expert credibility in climate change. *Proceedings of National Academy of Sciences*, 107, 12107-12109. doi:10.1073/pnas-1003187107.
- Belcher, O., Bigger, P., Neimark, B. y Kennelly, C. (2019). Hidden carbon costs of the “everywhere war”: Logistics, geopolitical ecology, and the carbon boot-print of the US military. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 00, 1-16. doi:10.1111/tran.12319.
- Bracho Carpizo, J. (2013). Ciencia, conciencia y política frente al cambio climático. En F. Castañeda, K. Valverde y M. L. Cruz. (Coords.), *Dinámicas políticas, sociales, económicas y culturales frente al cambio climático* (1ª ed., pp.165-181), México: UNAM/Colofón.
- Brulle, R. J. (2013). Institutionalizing delay: foundation funding and the creation of U.S. climate change counter-movement organizations, *Climate change On Line*. doi:10.1007/s10584-013-1018-7.
- Carlton, J. S., Perry-Hill, R., Huber, M. y Prokopy, L. S. (2015). The climate change consensus extends beyond climate scientists, *Environmental Research Letters*. doi:10.1088/1748-9326/10/9/094025.
- CMNUCC. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, Nueva York. Recuperado de: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- _____. (2015). *Conferencia de las Partes, 21º período de sesiones. Aprobación del Acuerdo de París*. París. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/l09s.pdf>
- Cook, J., Nuccitelli, D., Green, S. A., Richardson, M., Winkler, B., Painting, R., ... Skuce, A. (2013). Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature. *Environmental Research Letters*, 8 (2). doi:10.1088/1748-9326/8/2/024024.
- Crawford, N. C. (2019). *Pentagon fuel use, climate change, and the costs of war*. Rhode Island: Watson Institute, Brown University.
- Crippa, M., Oreggioni, G., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Lo Vullo, E., ... Vignati, E. (2019). *Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries: 2019 Report*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- Ding, D., Maibach, E. W., Zhao, X., Roser-Renouf, C., y Leiserowitz, A. (2011). Support for Climate Policy and Societal Action are linked to Perceptions about Scientific Agreement. *Nature Climate Change*, 1, 462-466. doi: 10.1038/NCLIMATE1295.

- Dooley, K., Stabinsky, D., Stone, K., Sharma, S., Anderson, T., Gurian-Sherman, D. y Riggs, P. (2018). *Missing Pathways to 1.5°C: The role of the land sector in ambitious climate action*. Sin lugar de edición: Climate Land Ambition and Rights Alliance.
- Doran, P. T. y Zimmerman, M. K. (2009). Examining the Scientific Consensus on Climate Change. *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 90 (3), 22-23.
- Echeverría, J. (2003). *La revolución tecnocientífica*. Madrid: Fondo de Cultura Económica de España.
- García Palacios, E., González Galbarte, J. C., López Cerezo, J. A., Luján, J. L., Martín Gordillo, M., Osorio, C. y Valdés, C. (2001). *Ciencia, tecnología y sociedad: una aproximación conceptual*, Madrid: OEI.
- Hansen, J., Kharecha, P., Sato, M., Masson-Delmotte, V., Ackerman, F., Beerling, D. J., ... Zachos, J. C. (2013). Assessing «Dangerous Climate Change»: Required Reduction of Carbon Emissions to Protect Young People, Future Generations and Nature. *Plos One*, 8 (12), 1-26. doi:10.1371/journal.pone.0081648.
- Harding, G. (1968). The Tragedy of the Commons. *Science*, 162, 1243-1248. doi:10.1126/science.162.3859.1243.
- Heede, R. (2014). Tracing anthropogenic carbon dioxide and methane emissions to fossil fuel and cement producers, 1854-2010. *Climatic Change*, 122, 229-241. doi:10.1007/s10584-013-0986-y.
- Hobbes, T. (1965). *Hobbes's Leviathan reprinted from the edition of 1651 with an Essay by the Late W. G. Pogson Smith*. Oxford: Clarendon Press.
- Howe, J. P. (2014). *Behind the Curve: Science and Politics of Global Warming*. Seattle y Londres: University of Washington Press.
- Hull, D. L., (1974). Informal aspects of theory reduction. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association, 1974*, 653-670.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services -Advanced unedited version-*, Bonn: IPBES Secretariat.
- IPCC. (1990). *Climate Change. The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge (UK): Cambridge University Press.
- _____. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, Ginebra, Suiza: IPCC.
- _____. (2019). Summary for Policymakers. En: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. (En prensa). Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/>
- Irwin, R. (2010). *Climate Change and Philosophy. Transformational Possibilities*. Londres y Nueva York: Continuum.
- Kahan, D. M. y Braman, D. (2006). Cultural Cognition and Public Policy. *Yale Law & Policy Review*, 24, 147-170.
- Kitcher, P. (1993). *The Advancement of Science: Science without Legend, Objectivity without Illusions*, Londres y Nueva York: Oxford University Press.
- Klein, N. (2016). *Esto lo cambia todo. El capitalismo contra el clima*. México: Paidós.

- Krosnik, J., Holbrook, A. L.; Lowe, L. y Visser, P. S. (2006). The Origins and Consequences of democratic citizens' Policy Agendas: A Study of Popular Concern about Global Warming. *Climatic Change*, 77, 7-43. doi: 10.007/s10584-006-9068-8.
- Lombardi, O. y Pérez Ransanz, A. R. (2012). *Los múltiples mundos de la ciencia. Un realismo pluralista y su aplicación a la filosofía de la física*, México: Siglo XXI/UNAM.
- Nagel, E. (2006). *La estructura de la ciencia. Problemas de la lógica de la investigación científica* [1961]. Barcelona: Paidós.
- Nebeker, F. (1995). *Calculating the Weather. Meteorology in the 20th Century*, San Diego (EUA): Academic Press.
- Oppenheimer, M., Oreskes, N., Jamieson, D., Brysse, K., O'Reilly, J., Shindell, M. y Wazeck, M. (2019). *Discerning Experts: The practices of Scientific Assessment for Environmental Policy*, Chicago y Londres: The University of Chicago Press.
- Oreskes, N. (2004). Beyond the Ivory Tower. The Scientific Consensus on Climate Change, *Science*, 306, 1686. doi:10.1126/science.1103618
- Oreskes, N. y Conway, E. M. (2018). *Mercaderes de la duda. Cómo un puñado de científicos ocultaron la verdad sobre el calentamiento global* [2011]. Madrid: Capitán Swing.
- Peters, G. P., Andrew, R. M., Canadell, J. G., Friedlingstein, P., Jackson, R. B., Korsbakken, J. I., Le Quéré, C. y Pregon A. (2019). Carbon dioxide emissions continue to grow amidst slowly emerging climate policies. *Nature Climate Change*, 10, 3-6. doi:10.1038/s41558-019-0659-6.
- Rescher, N. (1995). *La lucha de los sistemas. Un ensayo sobre los fundamentos e implicaciones de la diversidad filosófica* [1985]. México: UNAM.
- Ripple, W. J., Wolf, C., Newsome, T. M., Barnard, P., Moomaw, W. R., ... Zylstra, M. (2017). World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. *BioScience*, 67 (12),1-3. doi:10.1093/biosci/bix125.
- Ruse, M. (1974). Reduction in genetics. *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 1974, 633-651.
- Salmon, W. C. (2006). *Four decades of scientific explanation* [1989]. Pittsburg: University of Pittsburg Press.
- Sarkar, S. (1998). *Genetics and reductionism*. Cambridge (UK) y Nueva York: Cambridge University Press.
- Schaffner, K. F. (1967). Approaches to reduction. *Philosophy of Science*, 34 (2), 137-147.
- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., Lenton, T. M., Folke, C., Liverman, D., ... Schellnhuber, H. J. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115 (33), 8252-8259. doi:10.1073/pnas.1810141115.
- UNEP. (2017). *The Emissions Gap Report 2017*. Nairobi, Kenia: UNEP.
- _____. (2018). *The Emissions Gap Report 2018*. Nairobi, Kenia: UNEP.
- _____. (2019). *The Emissions Gap Report 2019*. Nairobi, Kenia: UNEP.
- _____. (2020). *The Emissions Gap Report 2020*. Nairobi, Kenia: UNEP.

- Valverde, K. y Cruz, M. L. (2013). Diseño y organización institucional del cambio climático en México. En F. Castañeda, K. Valverde y M. L. Cruz. (Coords.), *Dinámicas políticas, sociales, económicas y culturales frente al cambio climático* (1ª ed., pp.143-161), México: UNAM/Colofón.
- Verheggen, B., Strengers, B., Cook, J., van Dorland, R., Vringer, K., Peters, J., ... Meyer, L. (2014). Scientists' Views about Attribution of Global Warming. *Environmental Science and Technology*, 48, 8963-8971. doi:10.1021/es501998e.
- Woodward, J. (2017). Scientific explanation. En Edward N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2017 Edition)*, Recuperado de: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/scientific-explanation/>

Fuentes y tipos de la incertidumbre climática, una perspectiva filosófica

ROBERTO LORENZO GONZÁLEZ⁴¹

Resumen

Los estudios de los tipos de incertidumbres implicadas en los estudios del clima son relativamente nuevos. Aunque hay tratamientos para reducirlas, no todas son del mismo tipo y si no lo son, entonces necesitamos diferentes acercamientos. El problema radica en saber qué tipos hay y sus fuentes. Esto podría quedarse a nivel puramente teórico, pero muchas veces usamos la información de estos estudios para poder comunicarla a los tomadores de decisiones e informar nuestros debates en torno a la ética ambiental, como la responsabilidad con generaciones futuras, con el respeto a culturas autóctonas, entre otros problemas que surgen. Habrá algunos tipos de incertidumbre que podrán reducirse con el paso del tiempo, otras que serán inherentes al sistema estudiado o a la formulación de un problema; pero sin una clara distinción de qué incertidumbre está en juego, corremos el riesgo de confundir, lo cual nos puede llevar a serios problemas de orden teórico, y sus métodos correspondientes, lo cual también implica tomar decisiones mal informadas. Una de las dificultades de estos estudios radica en mantener un equilibrio entre el rigor analítico, lo cual puede retrasar nuestras políticas y la inminente urgencia de tomar acción frente a la dificultad que presenta el cambio climático. Aunque cualquier esfuerzo es mejor, para atacar la incertidumbre, que no tomar ninguna iniciativa.

Palabras clave: Incertidumbre; pluralismo epistémico; modelos climáticos; sistemas epistémicos; cambio climático;

Abstract

Studies of the types of uncertainties involved in climate studies are relatively new. Although there are treatments to reduce them, not all are of the same type and if they are not, then we need different approaches. The problem is knowing what types they are and their sources. This could remain purely theoretical, but we often use the information from these studies to be able to communicate it to decision-makers and report our discussions around environmental ethics, such as responsibility with future generations, with respect for indigenous cultures, among other problems that arise. There will be some types of uncertainty that may be reduced over time, others that will be inherent in the system studied or the formulation of a problem; but without a clear distinction of what uncertainty is at stake, we run the risk of confusing, which can lead to serious theoretical problems, and their

41 Estudiante de doctorado en filosofía de la ciencia, Universidad Nacional Autónoma de México. Contacto: robertlordenzo@gmail.com

corresponding methods, which also involves making ill-informed decisions. One of the difficulties of these studies is in maintaining a balance between analytical rigor, which can delay decision-making, and the imminent urgency of taking action in the face of the difficulty of climate change. Although any effort is better, to attack uncertainty, they take no initiative.

Keywords: Uncertainty; epistemic pluralism; climate models; epistemic systems; climate change

Introducción

En años recientes ha habido una sobre simplificación del tratamiento de la incertidumbre y existe el peligro de confundirla con mala calidad de información científica para contextos políticos, suponiendo que, a mayor calidad, menor incertidumbre y viceversa (Funtowicz y Ravetz, 1990). En situaciones políticas, la incertidumbre en el estudio del cambio climático puede motivar distintos tipos de acciones. Por ejemplo, los marcos de respuesta de cara al cambio climático, para futuras emisiones de gases de efecto invernadero, los niveles de incertidumbre son caracterizados como “escenarios inciertos”. Estos surgen a partir de la sensibilidad climática y de las emisiones (Curry, 2018); aunque también puede deberse a distintas asunciones epistémicas, como mencionaremos más adelante.

También existe la creencia de que la mejor forma de comunicar certeza es a través de hechos cuantificables y que cualquier incertidumbre residual puede ser removida o reducida mediante alguna técnica estadística matemática. De este modo no necesitaríamos una nueva aproximación a estos desafíos; pero las matemáticas no son suficientes para expresar con precisión los diferentes tipos de incertidumbre involucradas y tenemos que aceptar que el monstruo de la incertidumbre está ahí (van der Sluijs *et al.*, 2008).

Ha habido un cambio de actitud hacia la ciencia a partir del énfasis que se ha puesto en la incertidumbre, en el que los límites del conocimiento científico se han ido acrecentando (Felt, 1999). Incluso dentro de la ciencia misma, con el desarrollo de teorías relativistas a principios del siglo XIX o en el de la teoría cuántica, la cual afirma la inherente indeterminación de los sistemas físicos, principalmente a escalas microscópicas.

En casos como la geografía física, la incertidumbre es vista como la incapacidad de resolver los sistemas tierra de forma única y causal. La teoría del caos (Li y Yorke, 2004), por ejemplo, establece condiciones a nuestra capacidad para predecir aspectos del ambiente natural, a causa de la no linealidad del sistema y de las diferencias inconmensurablemente pequeñas en las condiciones iniciales. En este sentido, las predicciones de los modelos climáticos pueden diferir, aunque haya acuerdo generalizado sobre el cambio climático y las incertidumbres se propagan a lo largo de contextos espacio-temporales. La no linealidad de algunos sistemas ambientales no es la única dificultad que enfrentan los modeladores climáticos y científicos del clima, sino también el caos. E incluso, en ausencia de este, hay muchos elementos que pueden causar los cambios y que no pueden conocerse *a priori*.

Existen métodos bien definidos para estimar la incertidumbre, como la probabilidad, la cual es usada por los grupos de trabajo que conforman el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). En las notas de orientación para el quinto reporte de evaluación del IPCC (Mastrandrea *et al.*, 2010), se recomienda hacer uso de dos métricas para la evaluación de la incertidumbre: cuantitativa y cualitativa. El método cuantitativo se expresa probabilísticamente que dependen, principalmente, de observaciones y sus respectivos análisis, y el método cualitativo se establece a partir del juicio experto, determinado por la evaluación y acuerdo de la evidencia disponible. Lo que se recomienda es que, dependiendo del tipo de evidencia a la mano, los grupos de trabajo tienen

la opción de cualificar o cuantificar la incertidumbre del hallazgo de forma probabilística.

Según lo anterior, en las notas de orientación del quinto reporte de evaluación del IPCC, se establece una escala de probabilidad como la siguiente: “Virtualmente cierto: 99-100%, Muy probable 90-100%, probable 66-100%, tan probable como no 33-66%, improbable 0-33%, muy improbable 0-10%, excepcionalmente improbable 0-1%” (Mastrandrea *et al.*, 2010, p. 3). Esas escalas tendrían que homologar el tratamiento de la incertidumbre, pero si hay distintos tipos de ella, entonces no se ve claro cuál está homologada.

El argumento general que guía todo este capítulo es que, si las definiciones de incertidumbres climáticas son completas, entonces todos los posibles tipos de la misma están implicados; pero voy a negar el consecuente, a saber, no están cubiertos todos los tipos de incertidumbre, para negar el antecedente: no hay definiciones completas de incertidumbres climáticas. Esto con la finalidad de motivar un estudio más detallado de la misma, con ayuda de la investigación filosófica y ofrecer definiciones completas.

Trabajamos a partir de la hipótesis de que un trabajo filosófico de la ciencia puede contribuir a clarificar los tipos de incertidumbres involucradas en la reducción o tratamiento de las mismas, en el estudio sobre cambio climático. Si demostramos que existen otros tipos de incertidumbre y que además que no son sensibles a tratamientos tradicionales, entonces estaremos en posición de señalar que necesitamos estos estudios con la finalidad de ofrecer mejores herramientas en la detección de las incertidumbres de todos los tipos.

Desarrollo

La incertidumbre puede entenderse como falta de conocimiento (Frigg *et al.*, 2015). Algunos autores como Knight (2012) sostienen que esta falta se debe a que no somos capaces de atribuir alguna probabilidad relevante a la ocurrencia de un evento, porque no hay evidencia disponible o es parcial. En este sentido, la incertidumbre es una propiedad epistémica: limitaciones del sujeto que conoce.

Otra fuente de incertidumbre puede deberse a que los objetos de estudio son sistemas complejos, como lo es el sistema climático. Lo que estamos diciendo es que la incertidumbre es una propiedad inherente de ciertos sistemas. Si lo anterior es verdad, entonces tenemos una incertidumbre del tipo ontológico, lo que limita la comprensión del funcionamiento de un fenómeno. En general no se cuestiona la incertidumbre ontológica, algo que pertenece a sistemas complejos y nosotros tampoco lo vamos a poner en duda, la asumiremos como verdadera.

Hasta aquí sólo queremos rescatar dos cosas. La primera es que hay dos fuentes de incertidumbre reconocidas: una epistémica y otra ontológica. Aunque son definiciones analíticas y no siempre se distinguen en la práctica. Lo segundo es que la incertidumbre epistémica puede ser producto de limitaciones de comprensión de los mecanismos detrás de un fenómeno, falta de datos, errores en nuestros modelos, etc. Lo que decimos es que puede haber varias fuentes de incertidumbre epistémica y cada una de estas ser diferente: en unos casos será falta de datos o limitaciones en la comprensión de los mecanismos de un fenómeno, entre otras cosas.

Lo que haremos a continuación será sostener que el pluralismo epistémico puede ser una fuente de incertidumbre epistémica y no sostenemos que es un tipo de incertidumbre, son dos cosas diferentes. Esto nos ayudará a mostrar que hay otras fuentes involucradas. Si lo anterior es verdad, entonces necesitamos estudios, como los de filosofía de la ciencia, que nos permitan clarificar esos tipos o, caso contrario, para eliminar aquellas que creemos que lo son.

Pluralismo epistémico

El objetivo de este apartado es sostener que el pluralismo epistémico puede generar incertidumbre. Argumentamos de la siguiente manera: si es el caso de que hay pluralismo epistémico, entonces es un síntoma de que hay más fuentes de incertidumbre. Vamos a defender la idea de que el pluralismo epistémico y tesis subsidiarias, como el pluralismo sobre la verdad, pueden generar incertidumbre epistémica, por distintas razones que desarrollaremos a lo largo de este apartado. Dicho de forma negativa, no sostenemos que el pluralismo epistémico y el de la verdad son tipos de incertidumbre, sino fuentes.

Determinar los grados de certidumbre de nuestras inferencias de los resultados científicos, sobre el cambio climático, no sólo depende de la evidencia; sino de qué resultados son relevantes para los usuarios y cuáles deben ser tomados en cuenta. En el caso de los modelos climáticos, no sólo importa que los resultados sean robustos, sino que también deben tener una complejidad adecuada y una resolución espacio-temporal para apoyar ciertas predicciones y atribuciones. Pero antes de proseguir, debemos clarificar qué entendemos por pluralismo epistémico y cómo puede generar incertidumbre y además cómo se relaciona con los estudios del cambio climático.

El pluralismo epistémico puede tener distintas formulaciones, una de ellas es la siguiente: hay diferentes maneras de o formas de ser de x . En el que las nociones epistémicas toman el lugar de x . Estas pueden ser que haya distintas formas de estar epistémicamente justificados, de ser racionales. O que tengamos diferentes principios o valores epistémicos (Graham y Pedersen, 2020). El pluralismo epistémico no debe ser confundido con relativismo epistémico o contextualismo. El primero sostiene que hay mejores métodos epistémicos que otros y que no todos son igualmente válidos. Por su lado, el relativista sostiene que todo conocimiento depende de un marco de evaluación y que no es absoluto: la evidencia, la justificación, los valores veritativos, los hechos, intereses, entre otras cosas, están relacionados a sus sistemas. Esa propuesta sostiene que no hay privilegios o hechos que permitan decir qué sistema es más correcto que otro, para el relativista todos son igualmente válidos.

El contextualismo es una tesis lingüística en la que se sostiene que los parámetros de atribución de conocimiento varían a través de los contextos y tienen un impacto en el estatus semántico en la adscripción del mismo o en la adscripción de certidumbre. En cambio, el pluralismo epistémico es una tesis metafísica y no lingüística, que hace afirmaciones sobre la naturaleza de la relación del conocimiento, de qué es el conocimiento, y no de los significados que le atribuimos a este.

Uno de los desarrollos más prominentes del pluralismo epistémico está vinculado a otro problema: pluralismo sobre la verdad. Voy a clarificar este último y señalar por qué hay un fuerte vínculo entre estos dos tipos de posturas y por qué la motivación de uno, el de la verdad, implica el epistémico. Esto con la finalidad de presentar la razón de por qué el pluralismo epistémico implica incertidumbre.

El pluralismo sobre la verdad (Pedersen *et al.*, 2018) sostiene que no todas las proposiciones son verdaderas en exactamente la misma forma. La verdad de las oraciones declarativas, en matemáticas, son completamente diferentes a las de la ética, la estética, la política, etc. Así que la tesis general es: hay más de una forma de ser verdad de algo. Lo que se podría expresar de la siguiente forma, siguiendo a Pedersen *et al.* (2018):

- 1) Hay más de una propiedad de “verdad”.

La propuesta (1) puede tener una interpretación radical y una moderada. La moderada nos dice lo siguiente:

2) Hay más de una propiedad de ser “verdad”, algunas de las cuales son compartidas por todas las proposiciones verdaderas.

Lo que dice (2) es que hay algunas propiedades de ser “verdad”, pero no todas, que se comparten entre distintas proposiciones. Por ejemplo, las verdades en ciencias naturales compartirían la misma propiedad de ser verdad que no se comparte con las metafísicas o las lógicas.

Mientras que la interpretación radical sostiene:

3) Hay más de una propiedad de ser “verdad”, las cuales no son compartidas por todas las proposiciones verdaderas.

Lo que está diciendo (3) es que hay muchas propiedades de ser “verdad” y todas estas no se comparten entre las proposiciones verdaderas, son mutuamente excluyentes. Por ejemplo, la propiedad de ser verdad de una proposición matemática, física, ética, estética, no se comparte entre ellas mismas, ni ocurren bajo las mismas condiciones. Cada una tiene un criterio diferente.

Lo anterior contrasta con la tradición en epistemología, y en gran parte de nuestras investigaciones científicas, porque existe la creencia de que debemos ser monistas epistémicos. Esto se entiende de la siguiente forma:

4) Hay una y sólo una propiedad de ser “verdad” y es compartida por todas las proposiciones verdaderas. La razón para sostener un monismo puede deberse a muchas razones, una de ellas es evitar caer en subjetivismo, nihilismo, relativismo o contextualismo sobre la verdad; no obstante, no son mutuamente excluyentes. Se puede ser contextualista y monista; por ejemplo: se puede sostener que sólo hay una propiedad y sólo una la cual siempre depende del contexto. No tenemos que abandonar el pluralismo por temor a caer en subjetivismo, nihilismo o relativismo y seguir manteniendo el discurso monista. Podemos adoptar un pluralismo y seguir siendo rigurosos sobre el discurso en torno a la verdad. Incluso podríamos decir: hay muchas propiedades que hacen a algo verdadero.

El pluralismo sobre la verdad es plausible porque ciertas teorías sobre la verdad no dan alcance a todas las formas en las que una proposición puede ser verdadera. Por ejemplo, una teoría correspondentista (Tarski, 1956; Pedersen, 2017) sostiene que: una proposición “p” es verdad sí y sólo si p, donde p refiere a un hecho. En otras palabras: la proposición “hay electrones” es verdad sí y sólo si hay un hecho en el que hay entidades que son electrones. Algunas proposiciones podrán ser verdaderas en ese sentido, otras como “la obra de Shakespeare es sublime” no parece serlo en la misma forma, porque no hay tales cosas sublimes. La teoría correspondentista, como la define Tarski (1956) no puede explicar estas dos formas de ser verdad de esas dos proposiciones. Una de ellas sería falsa, porque no hay un referente que le corresponda a “la obra de Shakespeare es sublime”.

Podríamos aceptar que las proposiciones pueden ser verdaderas por distintas propiedades, aceptar que la verdad es pluralista. Luego, si uno de los principales objetivos de la investigación y la cognición es la verdad y esta es plural, entonces también lo son las formas de justificarla. Por ejemplo, para demostrar la verdad de un teorema matemático podemos usar inducción matemática o demostración por casos, pero para demostrar una norma ética o política necesitamos otros métodos.

Pongamos otro ejemplo a lo anterior: si nuestros modelos climáticos nos dicen que, dadas ciertas circunstancias, el incremento de la temperatura media global será de 2°C con una probabilidad del 33% y un 66%, entonces será tan probable que ocurra como que no ocurra (Mastrandrea *et al.*, 2010). Si aceptásemos una teoría sobre la verdad correspondentista, deberíamos sostener que hay un hecho en el mundo que corresponde a la

proposición: “la ocurrencia de un evento será entre un 33% y un 66%”, lo cual no parece ser el caso. Es decir, tendríamos que encontrar un hecho en el mundo que corresponda a esa proposición para que esta sea verdadera. En pocas palabras: debe haber más de una forma en la que una proposición puede ser verdadera.

La proposición anterior podría ser modal: existe la posibilidad, de entre un 33% y un 66%, de que un estado de un fenómeno se dé (Betz, 2009). Lo relevante no parece ser la verdad correspondentista, sino qué tan justificados estamos en creer qué cosa o cuánta evidencia hay a favor de la ocurrencia de algo. Dicho en pocas palabras: si la verdad es el objetivo principal de toda investigación y esta es plural, dado que no todas las proposiciones son verdaderas en exactamente la misma forma, entonces también lo es la forma de justificarla; pero si aceptamos que puede haber otros principios epistémicos valiosos, además de la verdad, como la coherencia, la evidencia, la justificación, entre otras, entonces tenemos que hay más formas de justificar algo.

Si aceptamos todo lo anterior, de que hay muchas formas de que algo sea verdadero, entonces podemos proseguir con lo siguiente. Si la certidumbre es un tipo de conocimiento del más alto grado (Reed, 2011), entonces implica al menos tres condiciones: creencia, verdadera, justificada (Ichikawa y Steup, 2018). Dado que verdad y la justificación son sensibles a ser plurales, entonces los grados y tipos de certidumbre también lo son. No ya en el grado de certidumbre que puede tener algo, que de hecho ya es suponer que esta es gradual, sino en el tipo de certidumbre que está en juego.

El grado de certidumbre puede variar, porque depende de si se usaron métodos probabilísticos o difusos, o cualquier otro, así como la clase de métodos que se usan para calcular la consistencia de los resultados de los modelos climáticos e incluso de la elección de la escala espacio-temporal. También puede haber sesgos relativos a los juicios expertos, respecto a lo que describen de los eventos o por la dinámica que existe en los grupos de trabajo y la heterogeneidad de los mismos (Brown, 2004). Por ejemplo: diferentes modelos climáticos podrían llegar a los mismos resultados, pero si es verdad que hay sesgos en la dinámica de los grupos de trabajo, entonces el hecho de que los modelos lleguen a los mismos resultados no es propio del sistema, sino que podría deberse a que estos no son independientes unos de otros (Parker, 2011): tienen parámetros, métodos, intereses, entre otras cosas, que comparten y que les lleva a llegar a concluir lo mismo.

El estudio del cambio climático es complejo, porque involucra aspectos físicos y sociales, como la vulnerabilidad y la adaptación, así como opciones de mitigación y adaptación. Lo mencionamos porque esto implica que se tienen que evaluar los hallazgos a partir de distintas aproximaciones y métodos, en algunos casos con diferentes estándares epistémicos. El IPCC cuenta con dos métricas para la homologación de la incertidumbre, así que es verdad que hay diferentes estándares epistémicos en las comunidades científicas y entre las mismas, sin mencionar los valores y perspectivas implicadas en el análisis de los descubrimientos científicos.

Diferentes problemas pueden tener distintos acercamientos científicos. Por ejemplo, los análisis y las evaluaciones de riesgo deben tener en cuenta los valores de distintos usuarios, tal como una interpretación social y sus estándares epistémicos, no sólo si un evento será probable o posible, o la percepción del riesgo que tienen distintas comunidades. Por lo tanto, diferentes problemas, aproximaciones científicas y perspectivas de los usuarios, dan lugar a la incertidumbre. Esto es porque si hay diferentes tipos de justificación, dadas las diferentes clases de verdad, entonces tenemos diferentes tipos de certidumbre e incertidumbre.

Según todo lo anterior, la incertidumbre es producto de las distintas aproximaciones epistémicas a un mismo fenómeno como lo es el cambio climático, porque cada una de ellas tendrá distintos valores e intereses para evaluar la evidencia disponible. Mientras algo podría ser incierto, para otros podría no serlo e incluso esa posibilidad podría no estar contemplada. Por ejemplo, Hultman, *et al.* (2010) sostiene que la evaluación de riesgo implica muchas aproximaciones científicas que estructuran el riesgo de diferente forma, debido a la percepción de riesgo, en ese caso podría estar a discusión si hay una sola forma de percibir el riesgo o todas son igualmente válidas. Así que la incertidumbre, como dice Brown (2004), no sólo es un asunto de qué pensamos, sino de cómo pensamos. El pluralismo epistémico implica otro tipo de incertidumbre, como el de la clausura.

Según Lane (2001), la clausura afecta todos los aspectos de la investigación en la práctica. Esta se entiende como lo siguiente: poner límites a la investigación a partir de un proceso de definición y delimitación del problema. Por ejemplo, los análisis de sensibilidad climática usados en la modelación ambiental (Meneveau y Katz, 1999), se centran en parámetros numéricos de los modelos matemáticos, y sus estructuras o la elección del dominio espacio-tiempo están delimitadas.

Para nosotros, la clausura no implica necesariamente incertidumbre. La razón es que hay distintos tipos de incertidumbre. Podemos afirmar, sin contradicción, que podemos saber sobre un campo determinado, incluso si delimitamos nuestro campo de estudio. Eso implicaría saber algo y no necesariamente hay incertidumbre. No obstante, tendríamos que argumentar que sólo hay un tipo, lo cual parece difícil, dado que no parece que sea así. El espacio es limitado para argumentar por qué nos parece que podemos saber algunas cosas y aun así no saber, en otro sentido. Aceptaremos que clausura no implica necesariamente incertidumbre, como algunos autores lo han sostenido.

Lo que queremos rescatar de la clausura es parece implicar que saber que no se sabe algo. No confundir con meta ignorancia: no considerar la posibilidad del error o no saber que no se sabe (Spiegelhalter y Riesch, 2011), porque quedan fuera aspectos relevantes para la comprensión de un fenómeno estudiado. Hay muchos modelos climáticos que estudian el mismo fenómeno, pero tienen en cuenta otros aspectos, como en los análisis de riesgos. La elección del modelo a partir del cual vemos la realidad no sólo es una cuestión de simplificar, porque podríamos usar modelos complejos y aún así ser menos precisos que si usáramos modelos simples.

La elección de qué modelo usar puede ser producto de una elección práctica informada por la comunidad epistémica. Por ejemplo, si decidimos correr modelos con lógicas difusas y no modelos complejos, se hace por la disponibilidad de recursos. Mientras algunos modelos en lógicas difusas pueden funcionar en computadoras de bajos recursos, con requerimientos que podría tener cualquier persona; modelos complejos podrían requerir computación a la que no todos tengamos acceso. La clausura o la limitación son por razones prácticas y no de procedimiento. Sin quitar que diferentes modelos podrían tener diferentes asunciones sobre la realidad; por ejemplo: al predecir el comportamiento ambiental podríamos optar por un modelo causal o uno estadístico y aquí es donde entra otro tipo de incertidumbre relacionada con los modelos.

Incertidumbre de modelos

El objetivo de este apartado es mostrar que la incertidumbre de los modelos climáticos implica incertidumbre epistémica. En otras palabras, la existencia de incertidumbre en los distintos modelos climáticos entra de la categoría más general que es la incertidumbre epistémica; pero la generan de una forma particular, que iremos describiendo a lo largo de este apartado.

Una de las principales dificultades que han enfrentado los modeladores climáticos es la reducción de la incertidumbre, con la finalidad de hacer proyecciones del cambio climático mucho más confiables y que permitan comunicar de forma precisa las consecuencias del cambio climático en los sistemas sociales y naturales. Una de las finalidades de reducir estas incertidumbres es para poder tomar decisiones que permitan mitigar y adaptar nuestros esfuerzos de cara al cambio climático.

El primer obstáculo de los modelos es la no linealidad y complejidad del sistema climático, lo que lleva a desarrollar modelos complejos con ecuaciones de alta dimensionalidad, entendido como un alto grado de libertad. Para esto, podemos encontrar diferentes niveles de incertidumbre dentro de los mismos modelos (Curry y Webster, 2011), que son los siguientes:

i) Imperfección de modelo: entra dentro de la categoría de incertidumbre epistémica, porque está limitada a la capacidad del sujeto cognoscente para simular el clima y puede subdividirse en otros dos tipos, a saber:

ii) Inadecuación de modelo: Una de las principales causas de la incertidumbre se debe a que los modelos no son isomórficos con el sistema climático, es decir, modelo y sistema modelado no tienen la misma estructura. Lo cual refleja nuestras limitaciones para conocer el sistema y la inadecuación de las matemáticas usadas en nuestros modelos computacionales (Stainforth *et al.*, 2007).

iii) Incertidumbre de modelo: Esta tiene que ver con los parámetros y parametrizaciones de sub cuadrícula, así como con las condiciones iniciales. Algunas de las incertidumbres en los parámetros implican constantes inciertas (microfísica de nubes). Respecto a las condiciones iniciales, las incertidumbres surgen a partir de los sistemas dinámicos caóticos y no lineales. Además de no conocerse bien las condiciones iniciales, las predicciones de las proyecciones pueden diferir de la trayectoria actual.

iv) Error de predicción: Este tipo de incertidumbre surge a partir de la propagación de las mencionadas anteriormente, a través de la simulación del modelo. El error de la predicción puede ser evaluada comparando con otras simulaciones o con las observaciones.

v) Incertidumbre de entrada: Esto es la incertidumbre de los *inputs* que describen el sistema y las condiciones que hace que el sistema cambie. Los datos, por ejemplo, son sensibles a la incertidumbre. Muchas veces no tenemos datos completos y estos deben ser supuestos o prescindir de ellos. Así que no es una propiedad del modelo, sino de los datos que ingresamos, lo que genera esa incertidumbre y podemos encontrarlo en tres niveles.

- a) Disponibilidad: Esto se refiere a la incertidumbre procedente de la escasez o ausencia de datos.
 - b) Precisión: tiene que ver con la falta de precisión en la obtención de los datos. No siempre se cuentan con los mejores métodos para recabarlos.
 - c) Fiabilidad: Refleja la integridad de los datos, muchas veces debido a errores asociados al proceso, análisis estadísticos o presentación.
- vi) Escenario incierto: Las proyecciones de los modelos climáticos pueden considerarse como resultados físicamente posibles o plausibles. En algunos casos es difícil establecer un grado de probabilidad para cada uno de los escenarios. E incluso es complicado determinar cuáles son situaciones físicamente posibles reales (Betz, 2009).
- vii) Errores: límite en la exactitud de las mediciones hechas con los instrumentos. (Funtowicz y Ravetz, 1990)

Una de las formas para reducir la incertidumbre en algunos de estos niveles es evaluar qué tan bien se ajustan los modelos a lo que ha sido observado o a los datos, lo que podríamos llamar precisión empírica, así como qué tan de acuerdo están los modelos unos con otros, conocida como robustez (método Montecarlo es un ejemplo de ello) (Flato *et al.*, 2014; Wu y Tsang, 2004). Se cree que los ensambles reducen los sesgos de los modelos individuales y que se mantienen aquellos en los que los errores son mínimos (Beaumont *et al.*, 2008). No obstante, eso no tiene que ser el caso, según Parker (2006), si muchos de los modelos han sido construidos por comunidades epistémicas que comparten los mismos estándares, entonces estos convergen por las asunciones compartidas (Fleck, 2012). Distintas comunidades epistémicas pueden tener los mismos criterios de evaluación, así que generan las mismas proyecciones sobre aspectos del fenómeno del cambio climático.

Lo que podríamos obtener de las proyecciones sobre cambio climático, y sus implicaciones, es coherencia y puede haberla sin correspondencia, es decir: no tiene por qué haber algo en el mundo que corresponda con lo que nos dicen los modelos, para eso hay interpretaciones modales o posibilistas de los resultados de los modelos climáticos (Betz, 2009). Aunque eso no resta ningún valor a los modelos: la coherencia es otro valor epistémico.

Si los modelos no son correspondentistas, entonces estos no nos dicen nada sobre la ocurrencia de algo en el mundo, es decir, no señalan un estado en este que pueda ser corroborado. Pero podemos evaluar sus resultados como coherentes; por ejemplo, los resultados no contradicen todo el conjunto de información que poseemos sobre un fenómeno (Katzav, 2014). O los resultados podrían constituir evidencia a favor para la acción, dependiendo de nuestros intereses. Podría haber incertidumbre en torno a la verdad correspondentista, porque no sabemos si lo que los modelos nos dicen corresponden a algo en el mundo, pero podría haber certidumbre respecto a la coherencia de nuestros modelos, porque si no contradicen todo lo que sabemos, entonces tenemos conocimiento por coherencia.

Hay otros pensadores, como Baumberger *et al.* (2017), quien sostiene que podemos reducir la incertidumbre de los modelos climáticos si combinamos la robustez, precisión empírica y coherencia con el conocimiento anterior. No obstante, lo único que hacen es incrementar el número de elementos y, por consiguiente, los problemas. Por

ejemplo: al incluir robustez debemos estar seguros de que no hay criterios epistémicos compartidos que hagan converger a los modelos. O la precisión empírica tiene que enfrentarse con el problema de escenarios inciertos: si los modelos climáticos generan escenarios climáticos futuros y todos estos son posibles, a partir del conocimiento que tenemos del sistema climático, y además son consistentes, no hay modo a priori de descartarlos como realmente posibles. Esto hace que nuestros modelos no sean precisos, al menos si los evaluamos con adecuación empírica (Scinocca *et al.* 2016).

El principio precautorio es una solución práctica al problema anterior. Sólo es tomar acciones preventivas en torno al cambio climático con la finalidad de evitar daños, según los posibles costos económicos y beneficios de actuar o no (Harremoës *et al.*, 2001); pero no implica tener certeza, en el sentido de adecuación empírica o correspondencia de los resultados de los modelos con los estados del sistema descrito. No se ataca directamente el problema de la incertidumbre de los modelos climáticos, sino a las acciones que podemos tomar a partir de determinado estado epistémico de los resultados de los modelos.

Podemos decir hasta aquí que hay distintos niveles de incertidumbre en los modelos climáticos, que pueden proceder tanto de la incapacidad de los modelos para ser isomórficos con el sistema que se pretende mapear, así como por la falta de datos o el desconocimiento del funcionamiento del sistema. La idea es que este tipo de incertidumbre no se puede reducir con métodos tradicionales o con la homologación del IPCC de la certidumbre.

Aquí queremos argumentar brevemente por qué el uso técnico de incertidumbre, su homologación, como lo pretende el IPCC, no solventa el problema de saber qué es la incertidumbre. Nuestro argumento, como dijimos al principio, es que si las definiciones de incertidumbres climáticas son completas, entonces todos los posibles tipos de la misma están implicados. Luego sostuvimos que no se explican todos los tipos de incertidumbre implicados y de allí concluimos que la estandarización del término no es completa. Podría creerse que sí tenemos definiciones completas, pero son más bien técnicas. Aunque no son mutuamente excluyentes, aunque esta última no implica con necesidad a la primera. Veamos por qué.

Si el término incertidumbre es definido como conjunto de situaciones posibles a las que se les pueden asignar probabilidades, o algún método de medición, como funciones de densidad de probabilidad a variables que son continuas (Kabir *et al.*, 2018), entonces es una definición técnica. Lo es porque está definida para un campo muy limitado y si fuese una definición completa, entonces podríamos usarla para definir la incertidumbre producto del pluralismo epistémico, es decir, debería tener la propiedad de ser transcategorica (Meylan, 2017).

Tener la propiedad de ser transcategorica excluye la posibilidad de que un término sea técnico, es decir, que sólo aplique a una sola categoría. Si la definición anterior no es técnica, entonces debería poder aplicarse a incertidumbres implicadas por el pluralismo epistémico; pero no se puede. Por ejemplo, hay incertidumbres éticas, producto de la incertidumbre climática, que no pueden ser resueltas por la definición técnica que dimos en el párrafo anterior.

Para sostener lo anterior consideremos otra cosa. Deberíamos ser capaces de asignar algún tipo de probabilidad a nuestro marco epistémico, por ejemplo, el que supone verdad por correspondencia. Así que podríamos hacer lo

siguiente: a la teoría de verdad por correspondencia se le tiene que asignar un conjunto de posibilidades, a través de una función de densidad de probabilidad a sus variables continuas. Si esto es posible, debemos ser capaces de asignar a una teoría un grado de probabilidad; pero en general esto se aplica a posibles estados o resultados y una teoría no es un posible estado o un resultado (Bogen, 2017). Tampoco puede asignársele variables continuas, siendo esto una propiedad que se encuentra entre dos valores exactos y la teoría de la verdad por correspondencia sólo supone dos valores exactos: verdad o falsedad. Por lo que aceptaríamos que hay valores intermedios y que no los hay, algo que no parece consistente.

Si lo anterior es correcto, entonces hay definiciones de incertidumbre que son técnicas y, por lo tanto, no son transcategorías. Esto implica que no pueden aplicarse a todos los dominios en los que se puede entender el término y si es verdad que hay incertidumbres que se siguen del pluralismo epistémico, entonces hay un dominio en el que no parece aplicarse métodos de medición de incertidumbre. Eso deja abierta la cuestión de los tipos y fuentes de la incertidumbre. Además de que las definiciones técnicas, más que resolver un problema, cierran el campo y se limitan a examinar lo que entra dentro de su dominio. Esto no está injustificado, pero corremos el riesgo de no percibir los otros tipos de incertidumbres involucradas.

Conclusión

Hemos mostrado que hay tipos de incertidumbre implicadas en la investigación en torno al cambio climático, que no están contempladas explícitamente en su evaluación y que no pueden ser reducidas a través de métodos de estandarización u homologación de la incertidumbre. Lo cual no implica que esos esfuerzos sean vanos, sino que aún están muy limitados.

Aún faltan otros tipos de incertidumbres que pueden estar involucradas en la investigación de cambio climático, por ejemplo, las que se siguen de la vaguedad y de la ambigüedad de los términos, así como en la traducción de un lenguaje técnico a uno ordinario o simplemente entre la comunicación entre distintas áreas del conocimiento. Aunque nuestro objetivo sólo es mostrar que hay más nociones de incertidumbre involucradas. Si es verdad todo lo que he dicho, entonces es claro que el término de incertidumbre aún no es claro, porque hay muchos tipos.

Mostramos que hay dos subtipos o fuentes de incertidumbre epistémica, la de modelos y la del pluralismo epistémico. También que las definiciones estándar no son suficientes para dar cuenta de todos los tipos de incertidumbre, lo que hacen es reducir el campo de aplicación a una parcela del mundo. También sostuvimos que la reducción de la incertidumbre, sea por motivos pragmáticos o epistémicos, puede generar ignorancia y evitar que podamos ver los otros tipos de incertidumbre, de modo que los pasamos por alto.

El papel que puede tener la filosofía de la ciencia en la contribución del desarrollo de la ciencia, y en particular en los estudios de cambio climático, puede ser el de clarificar los usos de nuestros conceptos. Y esto no se limita allí, sino que también implica nuestras asunciones epistémicas, e incluso ontológicas, sobre las propiedades del sistema. Saber por qué hay incertidumbre, de dónde procede, cuáles son sus límites, nuestros límites, si hay diferentes niveles dentro de una misma fuente de incertidumbre. Si puede ser tratada y reducida o debemos convivir con ella, si es

producto de una mala comprensión de los fenómenos o depende de nuestros marcos epistémicos. Esas y entre muchas otras dificultades pueden ser solventadas con un estudio y clarificación de la incertidumbre.

Nuestro único objetivo es motivar la relevancia del problema de qué es la incertidumbre o mostrar porque es filosófica y científicamente relevante en los estudios sobre cambio climático. Eso lo hicimos mostrando que hay más fuentes de incertidumbre de las que habitualmente consideramos al momento de homologar su tratamiento, como lo hace el IPCC. Si estamos en lo correcto, entonces hay más fuentes de incertidumbre y necesitamos seguir desarrollando tipologías que puedan dar cuenta de todos esos sentidos en lo que la incertidumbre se entiende. Además de que, como corolario, la filosofía de la ciencia puede contribuir a tal empresa, con el desarrollo de estructuras que nos permita la evaluación de las fuentes, tipos y alcances de la incertidumbre.

Referencias

- Beaumont, L. J., L. Hughes y A. J. Pitman. (2008). Why is the choice of future climate scenarios for species distribution modelling important?. *Ecology Letters*, 11, 1135–1146.
- Baumberger, C., R. Knutti, G. H. Hadorn, (2017) Building confidence in climate model projections: an analysis of inferences from fit. *WIREs Climate Change*, 454
- Betz, G. (2009). Underdetermination, model-ensembles and surprises: on the epistemology of scenario-analysis in climatology. *Journal for General Philosophy of Science*, 40(1), 3-21.
- Bogen, J. (2017). “Theory and Observation in Science”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.), Recuperado de: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2017/entries/science-theory-observation/>.
- Brown, J. D. (2004). Knowledge, uncertainty and physical geography: towards the development of methodologies for questioning belief. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 29(3), 367-381.
- Curry, J. (2018). “Climate uncertainty and risk”. *Variations*. Vol. 16, No. 3
- Curry, J. A., y Webster, P. J. (2011). Climate science and the uncertainty monster. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(12), 1667-1682.
- Felt, U. (1999). “Why should the public understand science? Some aspects of public understanding of science from a historical perspective”. *Between understanding and trust: the public, science and technology*, 7-38.
- Flato, G., Marotzke, J., Abiodun, B., Braconnot, P., Chou, S. C., Collins, W., ... y Rummukainen, M. (2014). Evaluation of climate models. In *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 741-866). Cambridge University Press.
- Fleck, L. (2012). *Genesis and development of a scientific fact*. University of Chicago Press.
- Frigg, R., Thompson, E., y Werndl, C. (2015). Philosophy of climate science part II: Modelling climate change. *Philosophy Compass*, 10(12), 965-977.
- Funtowicz, S. O., y Ravetz, J. R. (1990). *Uncertainty and quality in science for policy* (Vol. 15). Springer Science & Business Media.

- Graham, P. J., y Pedersen, N. J. (Eds.). (2020). *Epistemic Entitlement*. Oxford University Press.
- Harremoës, P., D. Gee, M. MacGarvin, A. Stirling, J. Keys, B. Wynne y S. G. Vaz. (2001). Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896–2000. European Environmental Agency. Copenhagen. 210 pp.
- Hultman, N. E., Hassenzahl, D. M., y Rayner, S. (2010). Climate risk. *Annual Review of Environment and Resources*, 35, 283-303.
- Ichikawa, J. J. y Steup, M. (2018), “The Analysis of Knowledge”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.), Recuperado de: <https://plato.stanford.edu/archives/sum2018/entries/knowledge-analysis/>.
- Kabir, H. D., Khosravi, A., Hosen, M. A., y Nahavandi, S. (2018). Neural network-based uncertainty quantification: A survey of methodologies and applications. *IEEE access*, 6, 36218-36234.
- Katzav, J. (2014). The epistemology of climate models and some of its implications for climate science and the philosophy of science. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 46, 228-238.
- Knight, F. H. (2012). *Risk, uncertainty and profit*. Courier Corporation.
- Lane, S. N. (2001). Constructive comments on D Massey ‘Space-time, “science” and the relationship between physical geography and human geography: rsquo. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 26(2), 243-256.
- Li, T. Y., y Yorke, J. A. (2004). “Period three implies chaos”. In *The Theory of Chaotic Attractors* (pp. 77-84). Springer, New York, NY.
- Mastrandrea, M. D., Field, C. B., Stocker, T. F., Edenhofer, O., Ebi, K. L., Frame, D. J., ... y Zwiers, F. W. (2010). Guidance note for lead authors of the IPCC fifth assessment report on consistent treatment of uncertainties.
- Meneveau, C., y Katz, J. (1999). Dynamic testing of subgrid models in large eddy simulation based on the Germano identity. *Physics of Fluids*, 11(2), 245-247
- Meylan, A. (2017). “The Pluralism of Justification”. In *Epistemic Pluralism* (pp. 129-143). Palgrave Macmillan, Cham.
- Parker, W. S. (2006). Understanding pluralism in climate modeling. *Foundations of Science*, 11(4), 349-368.
- _____. (2011). When climate models agree: The significance of robust model predictions. *Philosophy of Science*, 78(4), 579-600.
- Pedersen, N. J. L. L. (2017). “Pure epistemic pluralism”. In *Epistemic pluralism* (pp. 47-92). Palgrave Macmillan, Cham.
- Pedersen, N. J. L. Linding y Wright, C. (2018) “Pluralist Theories of Truth”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2018 Edition), Edward N. Zalta (ed.), Recuperado de: <https://plato.stanford.edu/archives/win2018/entries/truth-pluralist/>.
- Scinocca, J. F., Kharin, V. V., Jiao, Y., Qian, M. W., Lazare, M., Solheim, L., ... y Dugas, B. (2016). Coordinated global and regional climate modeling. *Journal of Climate*, 29(1), 17-35.
- Reed, B., (2011) “Certainty”, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2011 Edition), Edward N. Zalta (ed.), Recuperado de: <https://plato.stanford.edu/archives/win2011/entries/certainty/>.
- Spiegelhalter, D. J., y Riesch, H. (2011). Don’t know, can’t know: embracing deeper uncertainties when analysing

risks. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369(1956), 4730-4750.

Stainforth, D. A., Allen, M. R., Tredger, E. R., y Smith, L. A. (2007). Confidence, uncertainty and decision-support relevance in climate predictions". *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1857), 2145-2161.

Tarski, A. (1956). The concept of truth in formalized languages. *Logic, semantics, metamathematics*, 2(152-278), 7.

van der Sluijs, J. P., Petersen, A. C., Janssen, P. H., Risbey, J. S., y Ravetz, J. R. (2008). Exploring the quality of evidence for complex and contested policy decisions. *Environmental Research Letters*, 3(2), 024008.

Wu, F. C., y Tsang, Y. P. (2004). Second-order Monte Carlo uncertainty/variability analysis using correlated model parameters: application to salmonid embryo survival risk assessment. *Ecological Modelling*, 177(3-4), 393-414.

**Sobre quienes coordinan este libro y las
personas que escriben en el mismo**

RUBÉN DARÍO MARTÍNEZ RAMÍREZ

Licenciado en Ciencias de la Comunicación por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Cuajimalpa. Egresado de la licenciatura en Filosofía por la Universidad Nacional Autónoma de México. Desde el 2018 colabora para el Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM, principalmente en la vinculación con jóvenes, en procesos de participación ciudadana, así como en la difusión y divulgación del tema. Forma parte de grupos de trabajo como género y cambio climático, ciencia del clima y acceso a juventudes e infancias. A partir del 2019 coordina la Red Universitaria de Cambio Climático de la UNAM. Ha participado en distintos congresos, coloquios y charlas abordando diversas temáticas; además ha publicado un capítulo y breves artículos de divulgación enfocados al cambio climático y la divulgación de la ciencia.

FABIO ARTURO LÓPEZ ALFARO

Es egresado de la Licenciatura en Ciencias de la Tierra, de la orientación en Ciencias Espaciales, de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Es tesista en el Programa de Investigación en Cambio Climático, UNAM donde realiza una investigación en modelación climática por medio de la lógica difusa. Durante la licenciatura, la fortuna lo guió hacia el Equipo de Buceo de Ciencias donde se certificó como Buceador Dos Estrellas y Buceador Científico. Fue a través de ese aprendizaje co-curricular que afirmó su amor por el océano. Hoy en día, tiene el objetivo de dedicarse al cambio climático en ecosistemas marinos y el sueño de explorar el mar de aventuras.

NOEMÍ GARCÍA PONCE

Bióloga de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Desarrolló su tema de tesis y servicio social en el Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad con el tema “Análisis de las percepciones locales sobre la degradación de la selva baja caducifolia en la parte baja de la subcuenca del Río Purificación, México, mediante mapeo cognitivo”. Simultáneamente, ha participado en proyectos de autogestión agroecológica, educación ambiental y manejo de áreas verdes urbanas. Actualmente, sus intereses se centran en el uso de ciencia de redes y visualización de datos para caracterizar y analizar sistemas socio-ecológicos, por lo que fue ha participado como ponente en el seminario-taller de análisis de redes del Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM (IIEc).

JULIETA A. ROSELL

Maestra y Doctora en Ciencias Biológicas por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es investigadora y profesora en el Instituto de Ecología de esta misma universidad y miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Como parte del Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, desarrolla investigación sobre respuestas de la vegetación ante el cambio climático, agroecología, manejo forestal, y colaboración transdisciplinaria para la sustentabilidad. Realiza esta investigación en colaboración con actores locales, organizaciones de la sociedad civil, entidades del gobierno y colegas de instituciones en México y el extranjero.

ALFONSO LANGLE-FLORES

Doctor en Ciencias por el Instituto de Ecología, A.C. Investigador postdoctoral de la Universidad de Guadalajara-CUCOSTA y miembro nivel 1 del Sistema Nacional de Investigadores. Sus intereses son la conectividad, la alineación y la síntesis de evidencia de los sistemas socioecológicos (SES). Recientemente colaboró en la Evaluación Global de la Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos de las Naciones Unidas. Ha impartido cursos y seminarios sobre ciencias de redes y sustentabilidad en la Universidad Iberoamericana-León, Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM, el Colegio de México y el Instituto de Ecología. Sus estudiantes utilizan ciencia de datos con una visión sistémica para resolver desafíos de sustentabilidad.

VALERIA ROSALES PLATA

Ingeniera egresada del Instituto Politécnico Nacional, comenzó su formación en el área ambiental estudiando como Técnico en Ecología en el Centro de Estudios Científicos y Tecnológicos No. 6 “Miguel Othón de Mendizábal”. Posteriormente estudió la carrera de Ingeniería en Sistemas Ambientales en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas donde realizó su tesis en cuestiones de adaptación y mitigación al cambio climático. Comprometida con el ambiente y el estudio de los ecosistemas ha realizado actividades recreativas como montañismo y buceo, así mismo ha realizado cursos para su formación, tales como certificaciones de supervisor ambiental, talleres de construcción de paneles solares, cursos de técnicas de muestreo ecológico en campo, estudios de cultura ambiental y cálculo de huella de carbono.

AZUCENA LIBERTAD GARCÍA CISNEROS

Actualmente cursa la maestría en Economía con especialización en Economía de la Tecnología y la Innovación en la Universidad Nacional Autónoma de México. Es Ingeniera en Desarrollo Sustentable por parte del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores (ITESM) y posee siete años de experiencia en servicios de consultoría enfocada en los 3 pilares de la sostenibilidad. Ha colaborado como consultora y como directora de consultoría en temas diversos para el sector privado, gubernamental y social; su enfoque de trabajo se basa en la identificación y cálculo de los beneficios e impactos económicos, sociales y ambientales de cada proyecto.

SARAI ZAVALA GALVÁN

Egresada de la licenciatura en Ciencias Ambientales de la Escuela Nacional de Estudios Superiores unidad Morelia de la UNAM. Dentro de sus temas de interés se encuentran los aspectos filosóficos del cambio climático, la ecología política y la gestión ambiental. Ha colaborado y trabajado en proyectos ambientales y de carácter social con asociaciones civiles.

HEBER VÁZQUEZ JIMÉNEZ

Licenciado en filosofía por la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México (FFyL, UNAM), y actualmente estudiante de la Maestría en Filosofía de la Ciencia por la UNAM. Interesado en analizar las relaciones entre ciencia y políticas internacionales del cambio climático antropogénico desde las perspectivas filosófica y de los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). Ha escrito un par de artículos de divulgación sobre ello en la revista digital Cienciorama, de la DGDC de la UNAM.

ROBERTO LORENZO GONZÁLEZ

Es egresado de la licenciatura en filosofía, de la maestría en filosofía de la ciencia y actualmente cursa su doctorado en filosofía de la ciencia en la UNAM. Sus temas versan sobre cambio climático, abordados desde la perspectiva de la ética ambiental, sus implicaciones políticas, así como el estudio de aspectos relacionados a los modelos y sus resultados. También está interesado en mostrar la relevancia de la filosofía de la ciencia para análisis e incluso colaboración en la resolución de problemas científicos, en este caso, relativos al cambio climático. Actualmente trabaja sobre incertidumbre de modelos climáticos en el que pretende hacer un análisis de los tipos, alcances y niveles involucrados.

Esta obra se terminó de realizar en el mes de noviembre de 2021 por el Programa de Investigación en Cambio Climático de la UNAM.
Circuito de la Investigación Científica s/n
Edificio de Programas Universitarios de la UNAM, Planta Alta, Ciudad Universitaria, Alcaldía
Coyoacán, C.P. 04510, CDMX

