



CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO SOSTENIBLE EN AMÉRICA LATINA

Revista de difusión y divulgación científica

Avances en materia ambiental y cambio
climático en el estado de Morelos

Vol. 1, núm. 1, 2026 | DOI: 10.30973/ccds/2026.1.1



ccds.uaem.mx

Directorio

Viridiana Aydée León Hernández
Rectora

Elisa Lugo Villaseñor
Secretaría Académica

Jade Nadine Gutiérrez Hardt
Directora de Publicaciones y Divulgación

Equipo editorial

Efraín Tovar Sánchez
Editor

Eliezer Cuesta Gómez
Corrección de estilo y formación

Ariana María García Reyes
Sistemas

Julio Saavedra y Sofía Contreras Arias
Imagen de portada

Consejo editorial

Efraín Tovar Sánchez
Responsable de la Cátedra UNESCO Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en América Latina
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

María Luisa Castrejón Godínez
Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Patricia Mussali Galante
Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Alexis Joavani Rodríguez Solís
Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Leticia Isabel Valencia Cuevas
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Consejo nacional e internacional de revisores

Tania Sánchez Ortiz
Universidad Iberoamericana, Ciudad de México, México

Luis Alfonso Sandia Rondón
Universidad de los Andes, Venezuela

Marco Tulio Espinoza López
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Colombia

Marcel Szantó Narea
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

Neftalí Rojas Valencia
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Constantino Gutiérrez Palacios
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Katia Sánchez Ortiz
Oxford Martin School, Reino Unido

Zenón Cano Santana
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Jonas Morales Linares
Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

Alejandro Flores Palacios
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Cesar Sotelo Leyva
Universidad Autónoma de Guerrero, México

Fernando Varela Hernández
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Francisco Riquelme Alcantar
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Joel Daniel Castañeda Espinoza
Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, Instituto Politécnico Nacional, México

Miguel Santoyo Martínez
Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México

J. Rolando Ramírez Rodríguez
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Ana Karen Ivanna Flores Trujillo
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav), México

Carmen Agglael Vergara Torres
Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Elsah Arce Uribe
Centro de Investigación Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Luz de María Breton Deval
Instituto de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, México

María Teresa Bravo Mercado
Universidad Nacional Autónoma de México, México

Ofelia Sotelo Caro
Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Susana Silva Martínez
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Susana Valencia Díaz
Centro de Investigación en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Ortencia Colín Bahena
Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Oscar Luis Pyszczek
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Colombia

Perla Patricia Snaider
Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

Juan Pablo Álvarez
Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Bolivia

Jander Barbosa Monteiro
Universidade Estadual Vale do Acaraú, Brasil

Julio Cesar Lara Manrique
Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en América Latina, año 1, número 1, 2026, es una publicación periódica de difusión y divulgación científica con un esquema de publicación continua cuatrimestral (tres números anuales), un sistema de arbitraje doble ciego (*peer reviewed*) y se distribuye electrónicamente en formatos OJS y PDF. Es editada por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM), a través de la Cátedra UNESCO Cambio Climático y Desarrollo Sostenible en América Latina, edificio principal (planta baja), Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, C.P. 62209, Cuernavaca, Morelos, México. Teléfono +52 777 3297000, ext. 3277. Página electrónica de la publicación: ccds.uaem.mx Correo electrónico: catedra.unesco@uaem.mx

Editor responsable: Efraín Tovar Sánchez. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2025-112714284400-102, otorgada por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. ISSN: (en trámite). Responsable de la última actualización de este número: Efraín Tovar Sánchez. Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, CP 62209, Cuernavaca, Morelos, México. Teléfono +52 777 329 7000, ext. 3277. Correo: catedra.unesco@uaem.mx Fecha de la última modificación: 6 de febrero de 2026. Tamaño del archivo: 9.56 MB.

La cátedra UNESCO busca generar vinculación y compartir conocimiento entre instituciones de educación superior locales, nacionales y a nivel de América Latina para promover la educación, la investigación y la extensión sobre cambio climático y desarrollo sostenible, a fin de concretar, intercambiar, reflexionar, enriquecer y difundir este conocimiento para contribuir a la solución de problemáticas locales, regionales e internacionales. Los temas que aborda la cátedra incluyen aspectos científicos o tecnológicos relacionados con el cambio climático y el desarrollo sostenible en América Latina, además de temas interrelacionados entre diversas disciplinas científicas y diversos campos de aplicación a distintas escalas espaciales, con énfasis en el análisis de casos locales.

Esta publicación proporciona acceso abierto inmediato a su contenido, con base en el principio de ofrecer al público un acceso libre a las investigaciones para contribuir a un mayor intercambio global de conocimientos. Se distribuye bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License.



Contenido

La gestión de residuos, un vistazo desde el enfoque de la función pública en el estado de Morelos

Zalluly Lona Miranda, Jorge Bahena Díaz, Leslie Alejandra Ibarra Gómez

4

Las cercas vivas como proveedoras de servicios ecosistémicos frente al cambio climático en Morelos, México

Emir Basurto-García, Hortensia Colin-Bahena, Alejandro García-Flores

9

Cambio climático y aguacate en Morelos: influencia de la variabilidad de temperatura y precipitación en su producción

Karen Fernanda Arrieta-Aguilar, Oscar Gabriel Villegas Torres, Ana Cecilia Conde Álvarez

14

Los híbridos del cambio climático

Efraín Tovar-Sánchez, Patricia Mussali-Galante, Leticia Valencia-Cuevas, María Luisa Castrejón-Godínez, Alexis Joavany Rodríguez Solís

20

La problemática social como parte de la transición a energías sostenibles

Azucena Floriselva Cruz Ramírez

24

Educación ambiental en Morelos, respondiendo al cambio climático

Víctor Flores-Armillas, Ariadne López, Isaí Molina

29

Cambio climático y educación ambiental: una oportunidad para la conservación de las barrancas del norponiente de Morelos

Víctor Flores-Armillas, Jazmín González-Zurita, Oswaldo Flores-Armillas

34

Efecto del cambio de uso de suelo en la captura de CO₂ en el estado de Morelos

Victoria Bustos-Terrones, Julio Mark Aguilar Hernández, Juan Gabriel Loiza

38



La gestión de residuos, un vistazo desde el enfoque de la función pública en el estado de Morelos

Zalluly Lona Miranda^{1*}, Jorge Bahena Diaz², Leslie Alejandra Ibarra Gómez²

¹Dirección General de Gestión Ambiental de Morelos, ²Secretaría de Desarrollo Sustentable de Morelos.

*zalluly.lona@morelos.gob.mx

Resumen

La Dirección de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos está facultada para desarrollar e implementar instrumentos que 1) prevengan la generación de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, desde el origen hasta su disposición final, 2) se maximice el aprovechamiento de residuos a través de la valorización y 3) se vincule a todos los actores de la ruta crítica que siguen los residuos desde el enfoque de responsabilidad compartida que exhiben los planes de manejo, lo cual es un factor importante para el éxito de la encomienda, la difusión de las acciones, además de programas y proyectos que dirige esta unidad administrativa.

Palabras clave: residuos, planes de manejo, valorización, responsabilidad compartida.

La generación de residuos es inherente a las actividades humanas. Su gestión representa un reto en términos de política ambiental en el mundo^{1,2,3,4,5} y es obligación del Estado garantizar el derecho de toda persona a un ambiente adecuado a través de su protección. Ello es así mediante mecanismos para la participación responsable, activa y efectiva de todos los sectores sociales en las acciones tendientes a la gestión y manejo integral de residuos⁶.

La problemática socioambiental alrededor de los residuos consiste en: 1) la carente separación de los mismos para poder dar un “valor” que permita la recuperación de materiales, o bien la adquisición de fuentes de energía alternativas a los combustibles convencionales; 2) el deterioro de suelos y la contaminación de las aguas por la inadecuada disposición de residuos en sitios que no cumplen con las características técnicas

y la normatividad aplicable; 3) los incendios y las emisiones de gases de efecto invernadero que llegan a la atmósfera como resultado de la degradación de los residuos; 4) el cambio climático y las alteraciones de los ciclos naturales; 5) la proliferación de vectores causantes de enfermedades y/o la presencia de fauna nociva en los sitios de disposición, y 6) en las condiciones laborales insalubres que atentan contra la salud humana para personas dedicadas al aseo urbano, llamados comúnmente “pepenadores”.

Actualmente, los procesos de limpia conllevan la mezcla de residuos. Esto impide que puedan ser aprovechados en procesos como el reciclaje o el ingreso para la producción de nuevos materiales, terminando en los rellenos sanitarios (en el mejor de los casos), con lo cual se reduce su tiempo de vida y hace de la ruta un problema “sucio”.

Para lograr una gestión integral de residuos se debe involucrar a todos los actores que participamos de la ruta, categorizar los residuos según sus propiedades físicas y químicas e identificar las etapas en la historia de vida de los mismos: generación, acopio, transporte, valorización, reciclaje o tratamiento y disposición final⁷. Solo así es posible diseñar planes de manejo que operativamente aporten los resultados que se requieren para mitigar los impactos socioambientales.

La Dirección de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (DGIRSU), adscrita a la Dirección General de Gestión Ambiental de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del estado de Morelos, trabaja para promover entre la sociedad hábitos de consumo responsables. Se pretende minimizar la generación de residuos o, en dado caso, su reincorporación a procesos productivos mediante programas y campañas que den certeza a la vida que tienen los residuos desde un enfoque de “materiales susceptibles a ser reincorporados”. A partir de las categorías señaladas en el artículo 5.º de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)⁸, se reconocen:

- I. Los residuos sólidos urbanos (RSU) que derivan de lo producido en casas-habitación y son de competencia municipal.
- II. Los RSU que por su volumen exigen un manejo distinto, o bien aquellos materiales que pueden ser valorizados como el cartón, PET, fibras, neumáticos usados, entre otros, que son denominados como residuos de manejo especial (RME) y que es de obligación estatal atender su manejo.
- III. Los residuos peligrosos (RP) que responden directamente a la instancia federal por su naturaleza corrosiva, reactiva, explosiva, tóxica, inflamable o biológica-infecciosa (CRETIB).

Ejemplos de acciones que realiza esta unidad administrativa, con el objetivo de promover la disposición adecuada de RME, son las campañas de acopio de árboles de navidad, neumáticos y pilas en centros comerciales, que promueven la valorización de residuos a través de una logística que involucra a los tres órdenes de gobierno, la industria y la ciudadanía (figura 1).



Figura 1. Acciones que realiza la DGIRSU; de izquierda a derecha: acopio de árboles de navidad, llantatón y acopio de pilas en centros comerciales.

Actualmente, se está implementando una “Estrategia de disposición final para neumáticos usados” encabezada por la Secretaría de Desarrollo Sustentable del gobierno del estado de Morelos y Cementos Moctezuma (aliado en esta campaña), además de la participación de 17 municipios. El objetivo es la recuperación de neumáticos usados de manera permanente en centros de acopio municipales. Ello permitirá que la ciudadanía haga una disposición responsable de estos residuos y que, a su vez, tengan un destino como combustible alterno en los hornos de la empresa cementera. Con estas acciones se han recuperado más 800 toneladas de neumáticos usados en 18 meses⁹, cantidad similar que se tiene registrada en el histórico de las diez ediciones de Llantatón ciudadano celebrado en el marco del mes del medio ambiente (figura 2).

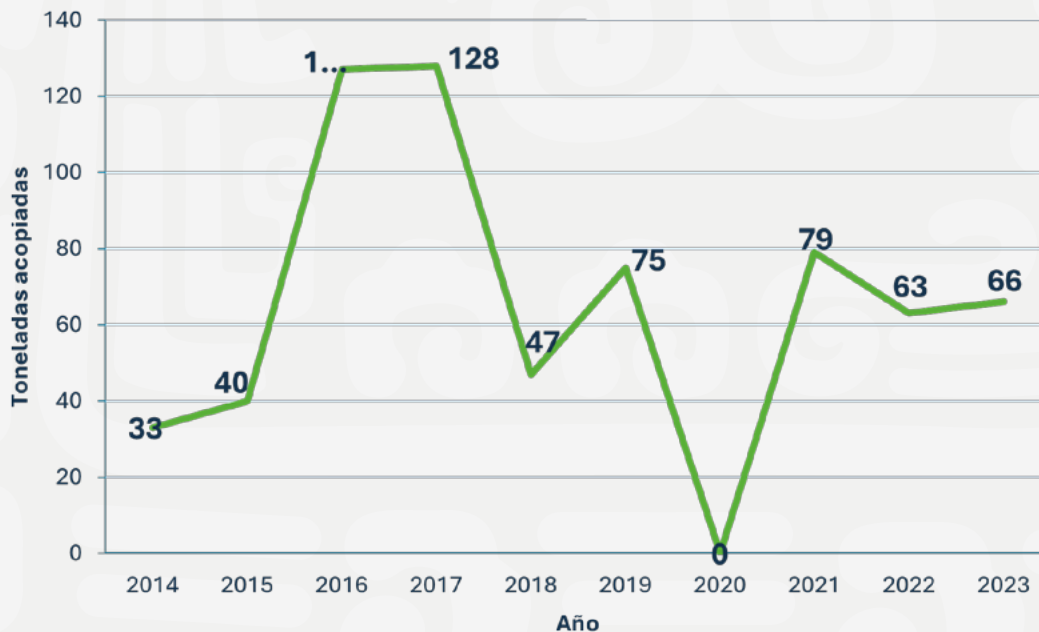


Figura 2. Toneladas acopiadas en las 10 ediciones del Llantatón.

Adicional a lo antes referido, en esta unidad administrativa se resuelven las solicitudes de autorización para cualquiera de las modalidades de manejo de RSU y RME. De estas se derivan 16 tipos de autorizaciones para

las personas físicas o morales que requieran cumplir con el marco jurídico en la materia. Con el intercambio de información que se obtiene a partir de los volúmenes de generación, traslado, acopio, tratamiento y disposición final de los residuos, se pueden establecer indicadores de desempeño para el desarrollo de programas que tengan por objetivo la valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social de la población.

Ante lo ya expuesto, cabe mencionar que en el estado de Morelos se producen alrededor de 2171 toneladas de residuos sólidos urbanos por día, lo que equivale a que cada habitante genera 1.2 kilogramos de residuos diariamente. Esta situación demanda estrategias que permitan implementar acciones preventivas que mitiguen el incremento de pasivos ambientales, la afectación a la salud pública y la degradación ambiental¹⁰. Es por ello que estas estrategias deben aplicarse en la gestión de residuos y estar integradas de manera multidisciplinar, pues solo así será posible atender de manera focalizada las áreas de oportunidad que se tienen por cuanto, a la ruta crítica de los residuos, además de los retos que hay alrededor, como la falta de participación ciudadana, la carencia de programas y reglamentos municipales, el acopio de información limitado, entre otros.

Para cerrar y a manera de reflexión, si la generación per cápita es de 1.2 kilogramos diarios y, según datos del Diagnóstico Básico de la Gestión Integral de Residuos¹¹, alrededor del 60 % de los residuos generados son de tipo orgánico: ¿Qué deberíamos de disponer en el camión de la basura? La fracción orgánica se puede compostar, pues el 25-30 % es residuo valorizable. La modificación en los hábitos de consumo implica repensar sobre la adquisición de materiales, además de buscar alternativas para no generar residuos que deban disponerse en rellenos sanitarios. Siempre hay una alternativa, y si no la hubiera, sería necesario crearla. Al final, cada ciudadano debería hacerse responsable de la generación de sus propios residuos para que se den acciones en concreto que abonen a la mejora ambiental y al desarrollo social.

Referencias bibliográficas

1. Ayalon, O., Avnimelech Y., & Shechter, M. (1999). Issues in designing an effective solid waste policy: the Israeli experience. En T. Sterner (Ed.), *The Market and the Environment: The Effectiveness of Market based Instruments for Environmental Reform*. Edward Elgar Publishing.
2. Jenkins, R. R., Kopits, E., & Simpson D. (2009). Policy monitor-The evolution of solid and hazardous waste regulation in the United States. *Review of Environmental Economics and Policy*, 3(1), 104-120.
3. Nash, H. A. (2009). The revised directive on waste: resolving legislative tensions in waste management? *Journal of Environmental Law*, 21(1), 139-149.
4. Karak, T., Bhagat, R. M., & Bhattacharyya, P. (2012). Municipal solid waste generation, composition, and management: The World Scenario. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(15), 1509-1630.
5. Jiménez, N. (2015). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes: Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, (17), 29-56.

6. Consejería Jurídica del Poder Ejecutivo del Estado de Morelos. Última reforma de 2023. Ley de Residuos Sólidos y Economía Circular para el Estado de Morelos. <http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/leyes/pdf/LRESIDUOSEM.pdf>
7. Reglamento de la Ley de Residuos para el Estado de Morelos. Última reforma de 2021. Ley de Residuos Sólidos y Economía Circular para el Estado de Morelos. <http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/leyes/pdf/LRESIDUOSEM.pdf>
8. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. 2023. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>
9. Secretaría de Desarrollo Sustentable (2022). *Boletín estatal digital*. <https://www.morelos.gob.mx/ultimas-noticias/invita-gobierno-de-morelos-a-la-poblacion-a-sumarse-a-la-campana-de-acopio-de-llantas-usadas>
10. *Periódico Oficial "Tierras y Libertad"*. 6.ª época, Núm. 6034 (2023). Programa estatal de la gestión y manejo integral de residuos sólidos urbanos y de manejo especial en Morelos. <https://periodico.morelos.gob.mx/obtenerPDF/2022/6034.pdf>
11. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020). *Diagnostico básico para la gestión integral de los residuos*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>



Las cercas vivas como proveedoras de servicios ecosistémicos frente al cambio climático en Morelos, México

Emir Basurto-García¹, Hortensia Colin-Bahena^{2*}, Alejandro García-Flores²

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias y ²Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

*ortencia.colin@uaem.mx

Resumen

El modelo de desarrollo dominante ha impactado los ecosistemas y con ello los servicios ecosistémicos (SE), afectado el bienestar de sus habitantes. Lo anterior propicia, entre otros problemas, el cambio climático (CC) con efectos diversos como la pérdida de biodiversidad. Una estrategia campesina ante esta problemática es implementar cercas vivas (CV), que son elementos arbolados, lineales, que separa pastizales, cultivos y parches de bosque. Los SE documentados de las CV del norte de Morelos se agruparon en aprovisionamiento 31 %, regulación 28 %, soporte 26 % y culturales 15 %, derivado del manejo de especies arbóreas silvestres.

Palabras clave: desarrollo sostenible, estrategia campesina, bienestar.

Introducción

El cambio climático es uno de los retos que los grupos sociales enfrentan en la actualidad. Por ello, es indispensable conocer sus efectos tanto en los ecosistemas como en las actividades productivas para contribuir a mitigarlos. El aumento en la concentración de gases de efecto invernadero trae como resultado el desequilibrio climático del planeta, modificando la temperatura promedio, la cantidad de lluvia anual, entre otras, además que afecta algunos aspectos de la vida humana y del resto del planeta.

Por ejemplo, los bosques y el CC están íntimamente ligados, ya que, durante el crecimiento de los árboles, estos absorben dióxido de carbono de la atmósfera que convierten, a través de la fotosíntesis, en carbono

y lo almacenan en su tronco, raíces, hojas y otros tejidos vegetales. Además, acumulan materia orgánica en el suelo. Para América Latina y el Caribe¹, las emisiones provienen principalmente de la agricultura y la ganadería con un 45 % y 23 %, respectivamente. Asimismo, son un factor determinante en la transformación, fragmentación y deforestación de los bosques. Las áreas forestales afectadas por el cambio de uso de suelo, la explotación excesiva o el incremento en la frecuencia e intensidad de los incendios agravan el problema porque durante estos sucesos se libera a la atmósfera el carbono que se mantenía almacenado.

México se encuentra entre los 10 países con mayores superficies de bosques primarios y, en su territorio, se registran diferentes tipos de vegetación, resultado de las condiciones fisiográficas, geológicas y climáticas, lo cual lo convierte en un país megadiverso². En estos territorios, habitan comunidades campesinas e indígenas que dependen de los recursos naturales para su bienestar.

Morelos presenta, en el 34.6 % de su territorio, dos regiones forestales^{3,4}. La primera se ubica en la zona norte y abarca cerca del 15 % de la superficie estatal; en esta, dominan los bosques templados (BT). En la segunda, prolifera el bosque tropical caducifolio (BTC). Ambos tipos de vegetación se encuentran amenazados por la tradición agrícola que, históricamente, ha demandado el cambio de uso de suelo, y ha reducido la superficie forestal en consecuencia, creando lo que se denomina “agropaisajes”. Estos albergan una importante diversidad florística dispersa en forma de pequeños parches remanentes de vegetación, que las comunidades manejan y usan con fines de subsistencia.

El manejo tradicional de la cubierta vegetal ha originado diferentes unidades productivas sostenibles que permiten disponer de bienes cerca de sus casas o parcelas⁵. Las CV son un ejemplo de estas unidades que los campesinos han utilizado por generaciones, basadas en su conocimiento ecológico tradicional (CET), y que permiten la permanencia de cobertura arbórea en paisajes fragmentados. Este sistema agroforestal es un elemento lineal, divisorio y arbolado que separa diversas áreas de manejo y algunos relictos de bosque⁶. Está constituido por diferentes especies de árboles persistentes y de rebrote rápido, aunque también contiene arbustos y ocasionalmente especies herbáceas seleccionadas y establecidas por productores bajo diferentes culturas o historias de uso del suelo en áreas con diferentes elevaciones y zonas ecológicas⁷.

Las CV se clasifican, de acuerdo con su composición florística y estructural, en simples o multiestratos. Las primeras tienen una o dos especies dominantes, que son podas a una altura similar, mientras que las multiestratos tienen más de dos plantas leñosas de diferentes alturas, y de las que se obtienen diversos recursos⁸. También albergan especies nativas, importantes en la conservación de los bosques y selvas, constituyendo hábitats para diferentes grupos animales. Por lo anterior, estos agropaisajes contribuyen a mitigar los efectos del CC a través de la generación de SE, entre ellos, los de provisión de alimento y medicina, además de los de regulación y soporte que permiten la retención de suelo y humedad, evitando su erosión y favoreciendo la estabilidad de la temperatura⁹. También benefician la calidad del aire por la captura y fijación de carbono en biomasa^{10,11}.

Las cercas vivas de Morelos

Las cercas vivas estudiadas se localizan en el corredor biológico (COBIO) Chichinautzin que presenta principalmente un reservorio de BT en transición con BTC. A pesar de la importancia biológica, cultural e hidrológica, este se encuentra amenazado por el cambio de uso de suelo, donde el proceso de industrialización-urbanización muestra un marcado proceso en la deforestación del área natural protegida (ANP)¹². En este COBIO habitan comunidades campesinas de origen nahua que mantienen un manejo intensivo de la biodiversidad, como es el caso de las CV que les provee de bienes tangibles e intangibles¹³.

Los SE que aportan las CV se identificaron con base en los valores de uso de las plantas y la percepción de sus dueños o manejadores en 10 comunidades de cinco municipios del COBIO Chichinautzin, su edad va de los 35 a los 70 años y el 80 % se dedica exclusivamente a la agricultura.

Resultó que el 90 % de las CV funcionan para delimitar parcelas o parte de ellas (figura 1). Estas presentan una riqueza de 35 especies arbóreas, la mayoría silvestres. El 83 % son de uso múltiple y, de acuerdo con las normas mexicanas, se encuentran bajo protección especial el cedro *Cupressus lusitanica* Mill. y el madroño *Arbutus xalapensis* Kunth y, como amenazadas, el lechón *Sapium macrocarpum* Müll. Arg.; el 71 % son nativas de México y, de estas, el 8 % son endémicas. Del total de los SE identificados, los habitantes del COBIO Chichinautzin mencionaron que el 31 % son de “aprovisionamiento”, al beneficiarles directamente con alimentos nutritivos y limpios a lo largo del año como frutas, hojas, semillas y flores. Lo anterior representa un



Figura 1. Ejemplo de cerca viva de Morelos.

ahorro, mientras que la venta del excedente permite un ingreso económico adicional para la familia. También les brindan medicinas con las que tratan malestares relacionados con los sistemas digestivo y respiratorio, entre otros.

Los servicios de regulación, con un 28 %, son un proceso complejo que regula condiciones ambientales. Los dueños de las CV identifican que regularizan el clima, explicando que “al tener la presencia de árboles, dan sombra que reduce el calor” o que “se produce aire más limpio”. Esto se relaciona con la captura de carbono y la liberación de oxígeno, resultado de la fotosíntesis y con lo que se contribuye a pequeña escala a mitigar el CC. Por lo anterior, las CV son una opción porque en su mayoría están integradas por árboles altos y tienen mayor potencialidad para almacenar carbono. Además, la acumulación de hojarasca en el suelo los protege de la erosión y, mediante la fijación de nitrógeno por algunas plantas, mantienen su fertilidad, permitiendo el reciclaje de este elemento en beneficio de los cultivos. Por último, son de importancia para la polinización porque las plantas con flores propician la presencia de insectos, aves y mamíferos que da lugar a una mejor regeneración de los árboles y a la conservación de la biodiversidad del bosque.

Los servicios de soporte para el estudio de caso representan, para los entrevistados, un 26 %. Estos mantienen procesos ecológicos básicos, asegurando el correcto funcionamiento de los ecosistemas. Las CV proporcionan condiciones necesarias para que una planta o animal pueda vivir y reproducirse, con hábitats para los polinizadores y a los enemigos naturales de las plagas, beneficiando a los cultivos. Por otra parte, las CV contienen una gran cantidad de plantas nativas provenientes de los bosques cercanos, lo que favorece el mantenimiento de la diversidad genética.

Por último, se encuentran los servicios culturales con un 15 %. Este concentra los beneficios no materiales que las personas obtienen de las CV a través del “embellecimiento de la vivienda”, el enriquecimiento espiritual, la apreciación de la belleza y la recreación referido a “un lugar sombreado para divertirse”. En suma, los SE referidos se basan en la bibliografía, las percepciones y los valores colectivos de los dueños de las CV y de sus componentes.

Conclusiones

Ante los embates del cambio climático, las cercas vivas, cuyo manejo se basa en el CET de las comunidades locales, cobran relevancia porque son establecidas en áreas fragmentadas donde la vegetación se encuentra en declive. Ello propicia la conservación de especies nativas de plantas y animales que provienen de bosques cercanos. Su implementación está íntimamente ligada no solo a delimitar áreas, sino también a generar servicios ecosistémicos de suministro, regulación, soporte y culturales fundamentales para el bienestar de las sociedades y su entorno natural. La extensión y la variedad de las plantas de las CV analizadas contribuyen a la continuidad de estos servicios críticos para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, agroecosistemas y la reproducción social de todos los actores involucrados.

Referencias bibliográficas

1. Bárcena Ibarra, A., Samaniego, J., Peres, W., & Alatorre, J. E. (2020). *La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?* Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
2. Espinosa, O. D., Ocegueda, C. S., Aguilar, Z. C., Flores, V. O., Llorente-Bousquets, J., & Vázquez, B. B. (2008). El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. Capital natural de México. En *Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 33-65). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
3. Sorani, V., & Rodríguez, G. G. (2020). Diversidad de regiones ecológicas. En C. Gómez, K. Nájera, D. López, J. Cruz & E. Melgarejo (Eds.), *La diversidad de Morelos. Estudio de estado* (pp. 29-36). CONABIO.
4. Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. 1.ª edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
5. Basurto-García, E., Colin-Bahena, H., Monroy-Ortiz, R., García-Flores, A., & Beltrán-Rodríguez, L. (2023). Influencia del conocimiento ecológico tradicional y la altitud en la estructura y diversidad arbórea de los cercos vivos del Corredor Biológico Chichinautzin, México. *Polibotánica*, (56), 115-150.
6. Harvey, C. A., Villanueva, C., Villacís, J., Chacón, M., Muñoz, D., López, M., Ibrahim, M., Gómez, R., Taylor, R., Martínez, J., Navas, A., Saenz, J., Sánchez, D., Medina, A., Vilchez, S., Hernández, B., Perez, A., Ruiz, F., López, F., & Sinclair, F. L. (2005). Contribution of live fences to the ecological integrity of agricultural landscapes. *Agriculture, ecosystems & environment*, 111(1-4), 200-230.
7. Budowski, G. (1987). Living fences in tropical America, a widespread agroforestry practice. En *Agroforestry: realities, possibilities and potentials 1* (pp. 69-178).
8. Murgueitio, E., Ibrahim, M., Ramírez, E., Zapata, A; Mejía, C., & Casasola, F. (2003). *Usos de la tierra en fincas ganaderas* (1.ª ed.). Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria.
9. Morantes-Tolosa, J. L., & Renjifo, L. M. (2018). Cercas vivas en sistemas de producción tropicales: una revisión mundial de los usos y percepciones. *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 739-753.
10. Hassán J., Espinosa-Tasón J., & Ríos L. (2017). Fijación de carbono en cercas vivas de fincas ganaderas de la Cuenca del río La Villa. *Ciencia agropecuaria*, (27), 14-27.
11. Abril, H. D., Mora, D. J., & Martínez, R. L. (2023). Economía del carbono: contabilidad de CO2 en cercas vivas de sistemas productivos lecheros alto-andinos de Colombia. *Revista Agroforestería Neotropical*, 1(12), 4-16.
12. Monroy-Ortiz, R., & Monroy, R. (2007). Saber la biodiversidad para lo urbano. Indicadores básicos. En *Escenarios de gestión del espacio urbano y regional en México*, 1.ª ed. (pp. 189-207). Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Planeación Urbana y Regional.
13. Colín-Bahena, H., Monroy-Martínez, R., & Rodríguez-Chávez, J. M. (2016). Traditional management units, the base of community conservation in Morelos, Mexico. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(1), 7-27.



Cambio climático y aguacate en Morelos: influencia de la variabilidad de temperatura y precipitación en su producción

Karen Fernanda Arrieta-Aguilar^{*}, Oscar Gabriel Villegas Torres¹, Ana Cecilia Conde Álvarez²

¹Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos,

²Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la Universidad Nacional Autónoma de México.

*karrietaaguilar@gmail.com

Resumen

El aguacate es un pilar en la agricultura mexicana. Se encuentra concentrado en cinco estados de México, incluido Morelos, y actualmente enfrenta desafíos por el cambio climático. El aguacate es sensible a cambios en temperatura y patrones de precipitación. En Morelos, se observan modificaciones climáticas que influyen en la producción de esta fruta, especialmente el aumento de temperatura y variaciones en la precipitación que impactan de forma negativa la fenología del aguacate, comprometiendo momentos cruciales de su ciclo de vida. Proyecciones climáticas a futuro indican un escenario más desafiante. Comprender estos impactos es fundamental para implementar estrategias de adaptación y garantizar la sostenibilidad de la industria aguacatera en un entorno cambiante.

Palabras clave: aguacate, vulnerabilidad, variabilidad climática, agricultura.

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill) en México es considerado un orgullo nacional, siendo líder en su cultivo con un valor de la producción agrícola primaria de 63 447 millones de pesos en 2022, así como por ser el principal proveedor de esta fruta a nivel mundial, aportando el 41.6 % del valor de exportaciones mundiales¹. Por ese éxito en la industria agroalimentaria, incluso es conocido como el “oro verde”. Más de 35 000 productores en el país se benefician de su cultivo, lo que lo convierte en el segundo cultivo más importante en términos

de valor de producción agrícola primaria. Además, la industria aguacatera genera 391 000 empleos directos y 98 000 indirectos².

El cultivo de aguacate en México, principalmente de la variedad Hass, se concentra en cinco estados: Michoacán, Jalisco, Estado de México, Nayarit y Morelos, que en conjunto contribuyen con el 95 % de la producción nacional¹. En Morelos, esta fruta se caracteriza por cumplir con estándares de calidad a nivel nacional e internacional y se encuentra dentro de los principales productos agrícolas del estado, destinando a su cultivo una superficie de 5728 hectáreas y con un valor de la producción de 901 millones de pesos en 2021². Por las características de suelo, clima y fisiográficas de la zona noroeste de Morelos, la industria aguacatera tiene un alto potencial de desarrollo. Algunos de los municipios productores son Ocuituco, Tetela del Volcán, Tlaneantla, Tepoztlán, entre otros³.

Factores socioeconómicos que promueven o limitan el crecimiento del sector productivo son el acceso a insumos (fertilizantes, plaguicidas), apoyos gubernamentales, asesoría técnica, capacitación, entre otros. Asimismo, aquellos que están relacionados con el entorno natural, como las características del suelo y el comportamiento de los elementos del clima, especialmente temperatura y precipitación^{4,5}.

Estos dos últimos factores juegan un papel fundamental en la productividad del aguacate, ya que es necesario cubrir ciertos requerimientos de temperatura y agua de acuerdo con la etapa en la que se encuentra (por ejemplo, floración o crecimiento del fruto) para obtener un desarrollo óptimo de la planta y, en consecuencia, buenos rendimientos⁶ (figura 1).



Figura 1. Floración y crecimiento del aguacate.

Para el caso del aguacate Hass, la temperatura desempeña un papel crucial en la duración del período de la floración hasta la formación del fruto. Las condiciones óptimas para el cultivo de esta variedad incluyen temperaturas medias anuales que oscilen entre los 14 y 24 °C⁷. También presenta requisitos específicos en cuanto a la cantidad de precipitación anual necesaria, que se sitúa en el rango de 1200 a 1800 mm que deben

estar bien distribuidos a lo largo del año. Otros aspectos relacionados con la precipitación, como el exceso de humedad, encharcamientos o, por el contrario, la presencia de sequías prolongadas puede tener efectos negativos en la producción⁷.

Cambio climático y aguacate: evidencias en Morelos

La alteración de la temperatura y la precipitación debido al cambio climático amenaza la producción agrícola, incluyendo el aguacate. Desde 1850, un aumento de 1.1 °C ha modificado los patrones de lluvia y ha incrementado la frecuencia de eventos climáticos extremos como lluvias torrenciales, olas de calor, sequías y heladas⁸.

Existe evidencia de cómo este fenómeno está afectando la producción de aguacate en México. Se ha determinado que la zona productora de aguacate en Michoacán ya ha sufrido modificaciones en la temperatura y una disminución de la lluvia^{9,10}. Otros estudios que se enfocan en analizar la aptitud del territorio señalan que las áreas potenciales para su producción, en México, podrían disminuir hasta un 43 % en los escenarios de cambio climático pesimistas¹¹.

Para el caso de Morelos, Bolongaro et al.¹² determinaron que la temperatura y precipitación sufrieron modificaciones en el periodo analizado de 1961-2008. Los datos muestran una tendencia de incremento de la temperatura máxima y en el número de períodos cálidos en el estado; respecto a la precipitación, una disminución del volumen de lluvia en la zona sur y el aumento en la zona centro y norte. Por su parte, Rojano et al.¹³ establecieron que el 78.68 % de la superficie total de Morelos presenta un grado desde vulnerable hasta altamente vulnerable.

El comportamiento de la temperatura y la precipitación en dos municipios productores de aguacate en Morelos (Cuernavaca y Tetela del Volcán) fueron analizados por Arrieta et al.¹⁴ en el periodo 1956-2019. Se encontró un aumento significativo de la temperatura mínima en Tetela del Volcán en años recientes, y un incremento de la precipitación anual en el periodo 2016-2018 junto con un retraso en el inicio de la temporada de lluvias. Estas modificaciones amenazan la fenología del aguacate, ya que las temperaturas están cerca del umbral crítico para la floración, y el desfase en la temporada de lluvias afecta la producción.

En términos del comportamiento futuro de la temperatura y precipitación en esta entidad, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)¹⁵ proyecta que para el periodo 2081-2100, bajo todos los escenarios, habrá un incremento gradual de la temperatura, alcanzando 1.2 °C a 4.9 °C en el escenario más pesimista (SSP5 RCP 8.5) con respecto a 1981-2010. En cuanto a la precipitación en el escenario más pesimista, se proyecta una disminución del 9.9 % en el volumen de lluvia respecto a 1981-2010.

Por su parte, Monterroso et al.¹⁶, quienes evaluaron la vulnerabilidad al cambio climático en función de sus tres dimensiones (exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa a nivel municipal), destacan que entre los tres municipios más vulnerables de Morelos se encuentra Ocuilco, el principal productor de aguacate en el

estado¹. Asimismo, reportan que el 79 % de la superficie del sector agrícola tiene un nivel medio de vulnerabilidad y el 18 %, alta vulnerabilidad.

Perspectivas

Los impactos del aumento de temperatura y cambios en la precipitación además de afectar los aspectos fisiológicos de la planta también afectan factores relacionados directamente con los productores, que pueden traducirse en la reducción de los rendimientos e incrementos de los costos de producción para mitigar los efectos negativos del cambio climático en los productores¹⁷. El aguacate es especialmente vulnerable, ya que su producción se concentra en cinco estados, incluido Morelos, donde más del 50 % de la superficie cultivada es de temporal; es decir, depende de la regularidad de las lluvias¹⁸. Comprender cómo el clima cambiará en el futuro es esencial para tomar decisiones que reduzcan estos impactos, ya sea mediante estrategias gubernamentales, ajustes en las prácticas agrícolas de los productores o más información para generar medidas de adaptación ante un entorno cambiante¹⁹.

Conclusiones

La influencia del cambio climático en la producción agrícola es innegable y el aguacate no es la excepción. El aumento de la temperatura y las alteraciones en los patrones de lluvia afectan directamente la fenología del aguacate, poniendo en riesgo los momentos cruciales de su desarrollo como la floración y el crecimiento del fruto. Además, se proyecta que estas condiciones podrían agravarse en el futuro.

El conocimiento detallado de los impactos del cambio climático en la producción de aguacate, junto con la comprensión de los posibles escenarios futuros, ofrece una oportunidad para implementar estrategias de adaptación que aminoren los efectos negativos. Las decisiones informadas y las acciones coordinadas, tanto desde el gobierno como desde el sector agrícola, son esenciales para afrontar estos desafíos y desarrollar prácticas más sostenibles y resilientes en un entorno cambiante.

Referencias bibliográficas

1. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
2. Sistema de Información de Acciones Sanitarias. (2023). *Estadística transversal. Panorama del Sector Agrícola*. <https://dj.senasica.gob.mx/SIAS/Statistics/Transversal/PanoramaAgricola>
3. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2021). *Aspectos geográficos. Morelos*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/areasgeograficas/resumen/resumen_17.pdf

4. Rocha-Arroyo, J., Salazar-García, S., Bárcenas-Ortega, A., González-Durán, I., & Cossio-Vargas, L. (2011). Fenología del Aguacate “Hass” en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(3), 303-316.
5. Salazar-García, S., Medina-Carrillo, E., & Álvarez-Bravo, A. (2016). Influencia del riego y radiación solar sobre el contenido de fitoquímicos de frutos de aguacate Hass. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(13), 2565-2575. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i13.483>
6. Téliz, D., & Mora, A. (2007). *El aguacate y su manejo integrado*. Mundi-Prensa.
7. Ruiz-Corral, J., Medina-García, G. A., Flores-López, H., Ramírez-Ojeda, G., Ortiz-Trejo, C., Byerly-Murphy, F., & Martínez-Parra, R. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. SAGARPA-INIFAP.
8. Intergovernmental Group of Climate Change. (2023). *Synthesis Report of The Ipcc Sixth Assessment Report (AR6)*. IPCC.
9. Ortiz Panigua, C., & Ortega Gómez, A. (2015). Agricultura y cambio climático en la región aguacatera del Estado de Michoacán. *20º Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México*, Cuernavaca, Morelos, AMECIDER-CRIM, UNAM.
10. Álvarez-Bravo, A., Salazar-García, S., Ruiz-Corral, J., & Medina-García, G. (2017). Escenarios de cómo el cambio climático modificará las zonas productoras de aguacate “Hass” en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(19), 4035-4048. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.671>
11. Charre-Medellín, J., Mas, J., & Chang-Martínez, L. (2021). Potential expansion of Hass avocado cultivation under climate change scenarios threatens Mexican mountain ecosystems. *Crop and pasture science*, 72(4), 291-301. <https://doi.org/10.1071/CP20458>
12. Bolongaro-Crevenna, A., Torres Rodríguez, V., Chavarría Hernández, J., Pohle Morales, O., García Vicario, F., & Barahona Echeverría, O. (2013). Escenarios de Cambio climático en el Estado de Morelos. En M. L. Ortiz-Hernández & E. Sánchez-Salinas (Eds.), *Cambio climático: Vulnerabilidad de sectores clave en el estado de Morelos* (pp. 17-53). Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
13. Rojano, A. O. (2013). Vulnerabilidad de la agricultura de temporal al cambio climático en el Estado de Morelos. En M. L. Ortiz-Hernández & E. Sánchez-Salinas (Eds.), *Cambio climático. Vulnerabilidad de sectores clave en el Estado de Morelos* (pp. 155-202). Universidad Autónoma del Estado de Morelos.
14. Arrieta-Aguilar, K., Sotelo Nava, H., Peralta Abarca, J. d., Villegas Torres, O., Perdomo Roldán, F., & Millán Benitez, E. (2023). Análisis de temperatura y precipitación en dos zonas aguacateras del estado de Morelos: periodo 1956-2019. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(4), 543-554. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i4.3161>
15. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2024). *Informe Jornada Estatal contra el Cambio climático: Morelos*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/961846/024_2024Morelos.pdf
16. Monterroso, R., Fernández, E., Trejo, V., Conde, C., Escandón, J., Villers, L., & Gay, C. (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Programa de Investigación en cambio climático: Universidad Nacional Autónoma de México. <https://atlasclimatico.unam.mx/VyA/>
17. Food and Agriculture Organization. (2019). *Agriculture and climate change. Challenges and opportunities at the global and local level. Collaboration on climate-smart agriculture*. FAO.

18. Sotelo-Nava, H., Villegas-Torres, O. G., Domínguez-Patiño, M. L., Perdomo-Roldán, F., Hernández Castro, E., Damián Nava, A., Ramos García, M. (2013). Avocado Nutritional Diagnosis (*Persea americana* Mill.) “Hass”, Soil Fertility and Water Quality in Ocuituco, Morelos. *Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 7(11), 1068-1073.
19. Monterroso-Rivas, A. I., Conde-Álvarez, A. C., Pérez-Damian, J. L., López-Blanco, J., Gaytan-Dimas, M., & Gómez-Díaz, J. D. (2018). Multi-temporal assessment of vulnerability to climate change: insights from the agricultural sector in Mexico. *Climatic Change*, 147, 457-473. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2157-7>



Los híbridos del cambio climático

Efraín Tovar-Sánchez^{1*}, Patricia Mussali-Galante², Leticia Valencia-Cuevas³, María Luisa Castrejón-Godínez⁴, Alexis Joavany Rodríguez Solís²

¹Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación, ²Centro de Investigación en Biotecnología, ³Escuela de Estudios Superiores del Jicarero, y ⁴Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

*efrain_tovar@uaem.mx

Resumen

Durante los cambios climáticos (cc) históricos se localizaron refugios glaciares que facilitaron la supervivencia de diversas especies de flora y fauna durante las eras glaciales. En la actualidad, los efectos del cc están provocando la ruptura de las barreras ecológicas, lo que facilita el encuentro entre especies que anteriormente estaban separadas espacialmente, dando origen a individuos híbridos. El fenómeno de hibridación ha sido reconocido como un evento “extenso” en plantas; se estima que más del 50% de las plantas con flores podrían haberse originado por este proceso. Asimismo, la hibridación puede tener consecuencias tales como: *a)* promover el reforzamiento de las barreras reproductivas, *b)* la extinción de una de las especies participantes, *c)* incremento de la diversidad genética en una o ambas especies participantes, *d)* generar individuos con un mayor “vigor híbrido” (descendientes que presentan características superiores a la de sus parentales) y *e)* dar origen a nuevas especies¹. Debido a los efectos del cc, se sugiere un incremento de eventos de hibridación en diferentes especies de plantas como resultado de la pérdida de las barreras ecológicas que las mantenía aisladas espacialmente.

Palabras clave: hibridación, cambio climático, refugio glacial, barrera ecológica, diversidad.

Introducción

El CC se define como cualquier cambio en el clima a través del tiempo, ya sea por variación natural o por la actividad humana. A nivel mundial el CC es considerado como la más grande amenaza para la salud humana y los ecosistemas. El Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (Intergovernmental Panel on Climate Change o IPCC, por sus siglas en inglés) sostiene, con un 95 % de certeza, que el CC actual es consecuencia directa de las actividades antropogénicas. Esto se refleja en el aumento en la temperatura media global, así como en la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos.

Los cambios en los patrones climáticos pueden alterar la distribución geográfica y abundancia de las especies, facilitando que especies que se encontraban aisladas geográficamente ahora coexistan. El aislamiento geográfico o ecológico (basado en requerimientos ambientales específicos) actúa como barrera que impide el contacto y la hibridación entre especies cercanas evolutivamente. El botánico Verne Grant² define la hibridación como el cruzamiento al azar entre poblaciones de diferentes especies con una historia previa de aislamiento ecológico. Este fenómeno puede ocurrir cuando las especies progenitoras se superponen espacialmente, o cuando especies cercanas que estaban divergiendo restablecen contacto en una región común, formando así una zona híbrida.

Lo anterior sugiere que el CC facilita la ruptura de barreras ecológicas que antes impedían la hibridación entre especies cercanas. Sin embargo, los cambios ambientales promovidos por el CC han facilitado que diversas especies amplíen su distribución geográfica y entren en contacto con especies cercanas.

Fenómeno de hibridación

El fenómeno de hibridación ocurre de manera frecuente en plantas y puede tener consecuencias “positivas” para las plantas involucradas. En términos de diversidad, podemos mencionar que los híbridos pueden producir nuevas especies, originar nuevos genotipos y características fenotípicas en las poblaciones involucradas, además de transferir adaptaciones entre especies a través de los híbridos. En algunos casos, estas consecuencias pueden proveer a algunas poblaciones o especies con la capacidad de expandir su área de distribución geográfica. En contraste, la hibridación puede tener una serie de consecuencias negativas que promueven una disminución en los niveles de diversidad genética en las especies involucradas¹. En este sentido, existen casos en los que la hibridación ha puesto en riesgo de extinción a especies con distribución geográfica restringida. La extinción mediada por hibridación ha cobrado especial importancia en el contexto del CC global. Debido al rápido incremento de las temperaturas medias y a los cambios en los regímenes de precipitación, muchos modelos proyectan una migración altitudinal de la biota. Estos eventos, junto con la introducción de especies exóticas, facilitan el contacto entre linajes recientemente divergentes resultando en procesos de hibridación y eventualmente, dependiendo de la genética de las poblaciones involucradas, conducir a su extinción o fusión de las especies cuando existen débiles barreras reproductivas.

Lo anterior ha sido documentado en dos especies vegetales que son consideradas nativas para México: los girasoles *Tithonia tubaeformis* (figura 1) y *T. rotundifolia* (figura 2). Los cc históricos y el flujo genético entre estas especies han sido factores determinantes en su distribución geográfica y diversidad genética. Múltiples análisis genéticos y de distribución de estas especies han evidenciado cambios en sus áreas de distribución geográfica. En general, se ha identificado que ambas fueron influenciadas por los cc durante la última era glacial, conduciendo al aislamiento de sus poblaciones en los periodos glaciales³. Al terminar las épocas glaciales, se sugiere una migración a partir de estos refugios, conduciendo al contacto secundario entre individuos de *T. tubaeformis* y *T. rotundifolia*, lo que promovió la formación de zonas de hibridación con la presencia de individuos de diferentes formas^{4,5} (figura 3). Además, los individuos híbridos registran nuevas moléculas químicas, lo que sugiere que el cruce entre *T. tubaeformis* y *T. rotundifolia*, con nuevas combinaciones de metabolitos secundarios, puede aumentar su vigor híbrido debido a sus actividades protectoras contra insectos herbívoros y el estrés ambiental.



Figura 1. *Tithonia tubaeformis*, nombre común gigantón.



Figura 2. *Tithonia rotundifolia*, nombre común girasol mexicano.



Figura 3. Individuos de zona híbrida entre *Tithonia rotundifolia* y *T. tubaeformis* en Morelos, México.

Perspectivas

Los cambios en la temperatura media global y en los patrones de precipitación generados por el cc han favorecido que especies vegetales que se encontraban aisladas geográficamente puedan entrar en contacto, promoviendo la cruce entre especies y la subsecuente formación de individuos híbridos. Debido a que los eventos de

hibridación en las plantas son comunes, y México es considerado como uno de los centros de diversificación de muchos grupos taxonómicos de plantas donde se han registrado frecuentes eventos de hibridación, se sugiere incrementar los esfuerzos en detectar eventos de hibridación y evaluar la respuesta de estos ante el CC en relación con sus especies parentales. Además, al reconocer que varios eventos de hibridación pueden dar origen a plantas con un mayor “vigor híbrido” (es decir, con una superioridad fenotípica del híbrido en relación con las especies parentales), es fundamental analizar su potencial para establecer una mayor amplitud de ambientes y tener un mayor éxito en el crecimiento, la reproducción y el rendimiento en comparación con las especies parentales.

Conclusiones

El papel de la hibridación natural en plantas ha sido un fenómeno fundamental en la evolución vegetal. No obstante, la constante presencia de disturbios promovidos por el CC, producto de las actividades humanas, favorece el rompimiento de barreras ecológicas y un subsecuente superposición y cruza entre especies relacionadas, llevando a la formación de zonas de hibridación en donde se puede encontrar una amplia variabilidad genética y fenotípica. Como resultado del CC, se prevé un incremento en la frecuencia de eventos de hibridación entre especies de plantas. Este fenómeno podría presentar una estrategia biológica de adaptación y supervivencia frente a los cambios acelerados en los ecosistemas.

Referencias Bibliográficas

1. López-Caamal, A., & Tovar-Sánchez, E. (2014). Genetic, morphological, and chemical patterns of plant hybridization. *Revista Chilena de Historia Natural*, 87, 16. <https://doi.org/10.1186/s40693-014-0016-0>
2. Grant, V. (1989). *Especiación vegetal*. Limusa.
3. López-Caamal, A., Ferrufino-Acosta, L. F., Díaz-Maradiaga, R. F., Rodríguez-Delcid, D., Mussali-Galante, P., & Tovar-Sánchez, E. (2019). Species distribution modelling and cpSSR reveal population history of the Neotropical annual herb *Tithonia rotundifolia* (Asteraceae). *Plant Biology*, 21(2), 248-258. <https://doi.org/10.1111/plb.12925>
4. López-Caamal, A., Mussali-Galante, P., Valencia-Cuevas, L., Jiménez J., Vega F. K., & Tovar-Sánchez, E. (2013). Transgressive character expression in hybrid zones between the native invasives *Tithonia tubaeformis* and *Tithonia rotundifolia* (Asteraceae) in Mexico. *Plant Systematic and Evolution*, 299, 1781-1792. <https://doi.org/10.1007/s00606-013-0834-6>
5. Tovar-Sánchez, E, Rodríguez-Carmona, F., Aguilar-Mendiola, V. Mussali-Galante, P., López-Caamal, A., & Valencia-Cuevas, L. (2012). Molecular evidence of hybridization in two native invasive species: *Tithonia tubaeformis* and *T. rotundifolia* (Asteraceae) in Mexico. *Plant Systematics and Evolution*, 298, 1947-1959. <https://doi.org/10.1007/s00606-012-0693-6>



La problemática social como parte de la transición a energías sostenibles

Azucena Floriselva Cruz Ramírez*

¹Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de Morelos.

* azucena.cruz@morelos.gob.mx

Resumen

Iniciar la transición a energías limpias –definidas como aquellos sistemas que producen energía sin generar contaminación por obtenerse del aprovechamiento de la luz solar o el viento o algún otro recurso que son renovables– resulta de suma importancia para el planeta Tierra. Pero antes de ser implementadas, se deberán conocer las necesidades de la población a quienes son dirigidas como parte fundamental de esta transición. Estas acciones serán la clave del éxito que su implementación requerirá. El hecho de enfocarnos a un beneficio global generalizado nos aleja de la concientización, pues es la sociedad quien deberá adoptar estos cambios en la medida en que se sientan verdaderamente beneficiados; es decir, la transición a energías limpias deben ser una forma de alcanzar la justicia social y erradicar la pobreza estructural del país.

Palabras clave: energías limpias, energías alternativas, emisiones de carbono, pobreza.

Introducción

Hemos escuchado hablar de energías limpias, cambio climático y quizá para nosotros sean temas ajenos, temas que solo se hablan entre los países más desarrollados y sus representaciones políticas. Sin embargo, es importante entender que el clima del planeta ha cambiado. Esa es la razón por la cual, en las últimas décadas, las sequías y otros desastres naturales han ido recrudeciéndose cada vez más, pues el aumento de la temperatura ocasionada por las actividades de los humanos ha perjudicado de manera grave a nuestro planeta Tierra. Esas actividades que por siglos se han profundizado, han provocado que las llamadas emisiones de carbono generadas por la quema de combustibles fósiles, la proliferación de la industria y la producción intensiva de

la ganadería, entre otras, han generado “el efecto invernadero” y, en consecuencia, “el calentamiento global”. Es por ello que los países buscan de manera desesperada soluciones para reducir y minimizar los efectos del cambio climático, razón por la cual están en la búsqueda de opciones de energías limpias (solar, eólica, etc.) que sean útiles a la población, y que a su vez contribuyan a erradicar la pobreza y permitir a la población el acceso de la justicia social como parte integral de la implementación de proyectos de transición a energías limpias (figura 1).



Figura 1. Ejemplos de energías renovables⁴.

Para poder llevar a cabo esos cambios, es fundamental entender algunos factores que no se han analizado adecuadamente. Si bien, es urgente realizar acciones que beneficien al planeta, también es cierto que la disparidad en las economías que existen en los diversos países hace que este cambio no se realice de manera paralela como se tiene estimado.

Particularmente, los países que denominamos América Latina tienen diversas situaciones que enfrentar. Algunos tienen problemáticas de crisis económicas, migración, desempleo, inseguridad, etc., que impiden que estos puedan caminar de manera paralela hacia una transición a energías limpias: “lo que para un país en desarrollo se percibe como un único objetivo de reducción de las emisiones debe sopesarse frente a otras prioridades urgentes, como la salud, pobreza y crecimiento económico [...] en las economías avanzadas hay tendencia a ignorar esta brecha”¹. Una de las consecuencias de la diversidad de realidades que existen entre los países es la complicación para poder llegar a acuerdos sobre la manera en que se llevará a cabo la transición a energías limpias, “la falta de consenso sobre la velocidad a la cual puede y debe realizarse la transición... [y] una división más profunda entre los países con economías avanzadas y en desarrollo [...] a las prioridades de la transición”².

Las realidades que existen entre los llamados “países de primer mundo” de aquellos denominados “países en vías de desarrollo” no son un tema que esté en la mesa de análisis a la hora de buscar soluciones en pro de reducir los efectos que el cambio climático ejerce en el mundo. Es decir, *lo que para algunos países parece ser una transición energética lógica y necesaria, para otros de América Latina, como México, es una realidad totalmente distinta y probablemente la transición no sea tan rápida ni emergente como el mundo globalizado demanda.*

Ahora, imaginemos que esa misma problemática se debe enfrentar al interior de un país. Y es que conocer, entender y comprender a una población, así como sus necesidades, es un trabajo que requiere de arduo compromiso por parte de los gobernantes; es decir, cada país a su interior deberá encontrar qué energías de transición deberán ser beneficiosas y útiles para sus ciudadanos.

México es un país pluricultural, condición que hace que la transición a energías limpias sea más complicada. En el entendido de que cada región tiene complejidades distintas, existen diversidades particulares en las poblaciones, en donde el acceso a las tecnologías depende de muchas situaciones, como la ubicación territorial, los usos y costumbres, el tipo de necesidades en las que se encuentran, pues en nuestro país convergen diversas comunidades a saber:

- urbanas;
- semiurbanas;
- indígenas y o pueblos originarios;
- rurales;
- centros de población irregulares, y
- comunidades vulnerables o en condiciones de pobreza.

Esta situación nos muestra que, en la generalidad, no se valoran las condiciones que deberán enfrentar los países a la hora de implementar los cambios que se requieren para cumplir con los objetivos que a nivel internacional se han propuesto en la Agenda 2030, la cual es definida como “una agenda transformadora, que pone a la igualdad y dignidad de las personas en el centro y llama a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el ambiente. Es un compromiso universal adquirido tanto por países desarrollados como en desarrollo [...] que toma en cuenta los medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres por eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático”⁷³.

Por lo antes expuesto, se debe reflexionar qué papel estamos desempeñando como país, analizando que primeramente se deben establecer premisas básicas para saber si a la población, a la cual se están dirigiendo los proyectos de transición energética, le interesa ser parte de ese cambio. Y para conocer las necesidades de las poblaciones deberán establecerse los siguientes planteamientos (figura 2):

- I. Población a quien está dirigida.
- II. Indicador o intervención de la población.

- III. Grupo de comparación (tipo de población a que está dirigida y posibles conflictos entre poblaciones o comunidades).
- IV. Resultado de interés (riesgos, beneficios y consecuencias de la implementación de proyectos).
- V. Tiempo de beneficio (tiempo de interés).



Figura 2. Fases para un proyecto de energía renovable⁴.

Una parte fundamental de llevar a cabo la transición a energías alternativas es socializar este tipo de cambios con la población; es decir, *concientizar con ellos la importancia de la sustentabilidad, la protección al ambiente y de sus recursos naturales*, adaptar las tecnologías a las necesidades específicas de la población a la que va dirigida, realizar un trabajo de acercamiento mediante el cual los gobiernos busquen conocer a sus ciudadanos y sus necesidades energéticas y de consumo, ya que cada comunidad tiene sus propias particularidades.

Es por ello que las llamadas energías limpias deben adaptarse a la forma de vida de cada comunidad, en donde el respeto a sus costumbres, creencias y usos debe ser el eje importante para avanzar en implementar estas tecnologías alternativas. Cada ciudadano debe entender y ver de manera palpable los beneficios económicos o sociales que las nuevas tecnologías traerán a su modo de vida, y que sea el camino hacia una forma de erradicar la pobreza y, a su vez, ayudar al medio ambiente que lo rodea.

Los pobladores deben ser los primeros en entender la forma en que se implementarán los programas energéticos. Incluso ser copartícipes de la colocación, instalación, procesos, adaptación y beneficios de las tecnologías alternativas, para que por sí mismos entiendan la importancia que dichos programas tendrán en su calidad de vida (salud, economía y bienestar). Solo así serán corresponsables de estas acciones con la finalidad de que se sientan como parte importante en la conservación de su entorno ambiental.

Evaluar el impacto social que tendrá la implementación de las nuevas tecnologías energéticas en la población, así como los beneficios y consecuencias que tendrán a largo, mediano y corto plazo, son situaciones que deben ser analizadas por todos los gobiernos internos. Recordemos que toda tecnología siempre conlleva un impacto negativo que deberá analizarse con independencia de los beneficios que traerá, pues, aunque lo urgente es entender que la transición energética es una oportunidad para cambiar la forma en que producimos, distribuimos y consumimos energía, debemos concebir que nuestro país requiere soluciones que impacten de manera directa a la sociedad. De lo contrario, México no estará en la posibilidad de situarse en la misma línea de aquellos gobiernos que han resuelto temas tan diversos como el acceso a la justicia, la seguridad, la salud y la seguridad económica.

Referencias bibliográficas

1. Yergin, D. (2022). *La rebatiña por la energía*. www.embajadaabierta.org
2. Varela, M. (2023). *Los residuos de la transición energética y las energías renovables*. <https://hablandoenvidrio.com>
3. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2018). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/cb30a4de-7d87-4e79-8e7a-ad5279038718/content>
4. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). *Guía para el Fomento de las Energías Limpias*. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/712570/Guia_Energias_Limpias_Dic21.pdf



Educación ambiental en Morelos, respondiendo al cambio climático

Víctor Flores-Armillas¹, Ariadne López², Isaí Molina^{2*}

¹Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos

y ²Secretaría de Desarrollo Sustentable de Morelos.

*isai.molina.tapia@gmail.com

Resumen

Uno de los objetivos de la educación ambiental es contribuir a formar ciudadanos conscientes de sus responsabilidades individuales y colectivas para potenciar su participación en la búsqueda de alternativas de adaptación y mitigación al cambio climático a nivel local y global. Desde el sector gubernamental, la educación ambiental es implementada por la Secretaría de Desarrollo Sustentable. La cual ha buscado incidir y desarrollar estrategias, fomentando la participación ciudadana de las infancias, juventudes y servidores públicos para la adaptación al cambio climático.

Palabras clave: adaptación, cultura ambiental, desarrollo sustentable.

Introducción

Desde su aparición en la década de los años setenta durante la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, llevada a cabo en Estocolmo, la educación ambiental ha sido una herramienta indispensable para promover el desarrollo sustentable¹. Con ella, se ha apostado por los principios educativos para impulsar el desarrollo sustentable en los países, el cual busca lograr “un balance entre el crecimiento económico y la conservación de la naturaleza, con la posibilidad de movilizar el potencial ecotecnológico, la creatividad cultural y la participación social, para construir estilos diversos de desarrollo sustentable; equitativo, descentralizado y autogestionario”². También implica una posición ética, es decir la inclusión de principios básicos dentro del bien común y la sustentabilidad³.

Educación ambiental

Por ello, la educación ambiental es un instrumento que puede contribuir a la formación de una ciudadanía enterada de sus responsabilidades ambientales, individuales y colectivas, lo que puede potenciar la participación ciudadana en la resolución de los retos climáticos a nivel local y global. El desarrollo de la educación ambiental, expresada en conocimientos, sentimientos, valores, actitudes, así como de comportamientos en la niñez y la juventud, debe ser una prioridad en los momentos actuales. Esto es debido a la necesidad de desarrollar en ellos una cultura para el desarrollo sustentable integral que sea traducida en una conducta responsable ante los retos ambientales que se presentan.

A nivel global, los seres humanos somos el factor que más influye en el deterioro de la biodiversidad, ya que, en la búsqueda de la satisfacción de nuestras necesidades, se lleva a cabo la transformación, degradación y desaparición de los ecosistemas y sus servicios. Según el *Estudio de Estado 2020* en Morelos, las causas de la pérdida de la cobertura vegetal se generan por el cambio de uso del suelo derivado de la expansión de campos de cultivo y de la urbanización⁵. Con base en la situación ambiental de la entidad, donde grandes extensiones de vegetación riparia, así como de selvas bajas caducifolias se encuentran amenazadas, y donde tenemos al río Apatlaco como uno de los más contaminados de la región centro del país, se podría decir que la población del estado de Morelos carece de cultura ambiental y realiza pocas acciones ambientalmente responsables.

Esto ocurre principalmente porque la población no relaciona el impacto de sus acciones en el deterioro ambiental y carece consciencia sobre los servicios ambientales que nos brindan los ecosistemas y las especies que los habitan. La falta de conocimientos y la poca sensibilidad tienen como consecuencia que las personas no se responsabilicen del deterioro ambiental y no se comprometan con su cuidado y con la toma de acciones para dar solución a las problemáticas que enfrenta. Además, posiblemente la población no tenga acceso a la información y los conocimientos necesarios para abordar adecuadamente las problemáticas ambientales de su entorno, no se encuentren motivados para actuar y carezcan de espacios que garanticen su participación en la toma de decisiones relacionadas a los temas ambientales.

En este sentido, la Secretaría de Desarrollo Sustentable, a través de la Dirección General de Educación Ambiental y Vinculación Estratégica (DGEAVE), ha buscado incentivar el cambio de comportamientos ambientales enfocándose en las infancias, funcionarios públicos, juventudes y miembros de la sociedad civil organizada. Además, ha realizado estrategias para que estos sectores sean replicadores de la información, la transmisión de los conocimientos y habilidades adquiridas para contribuir a construir una cultura ambiental en la población morelense.

De esta manera, la DGEAVE ha realizado talleres, charlas y conferencias, las cuales tienen como efecto incidir en la construcción de una cultura ambiental que sirva para propiciar la adaptación al cambio climático de la población morelense. Dos temáticas relevantes en la acción gubernamental han sido: 1) la sensibilización y capacitación en temas como los huertos orgánicos de traspatio, los cuales pueden ayudar a disminuir la temperatura de las ciudades y ofrecer una alternativa económica para la población, y 2) charlas y talleres con los

cuales se ha difundido y socializado el Decreto 451, que promueve la eliminación de los plásticos de un solo uso en los 36 municipios del estado, y con lo cual se podría reducir la emisión de gases de efecto invernadero y carbono negro.

Por otro lado, resaltamos la importancia de cuatro proyectos realizados durante los años 2022 y 2024 que pudieron contribuir a la adaptación al cambio climático en el estado:

- I. Cumbre Infantil Morelense de Medio Ambiente (CIMMA): es una buena práctica en materia de educación ambiental para infantes, la cual reúne entre 250 a 300 niños anualmente y se ha realizado de manera ininterrumpida por 24 ediciones desde el año 2000. Durante tres días se impartieron talleres a las delegadas y delegados de 5.º y 6.º año de primaria en el marco de la Agenda 2030 y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en temas como: huertos orgánicos, composta, reciclaje, conservación de polinizadores, economía circular, eficiencia energética, conocimiento de la biodiversidad, áreas naturales protegidas, combatientes forestales y gestión hídrica, además de ser un espacio de presentación de proyectos ambientales escolares. Sin duda, la CIMMA está ampliamente arraigada en la sociedad morelense. Algunos de los retos que enfrenta son el seguimiento a los conocimientos que adquieren las infancias, la identificación de liderazgos regionales y la regionalización de las temáticas que se aborden en esta cumbre.
- II. Fortalecimiento a los municipios: este se realiza a través de talleres sustentables, que en conjunto capacitaron aproximadamente a 1800 autoridades locales en promedio al año, entre los que se encuentran regidores y directores de ecología, ayudantes, delegados y representantes de las colonias. Entre los temas que se imparten se encuentran La Agenda 2030 y los ODS. Se analizan las acciones locales desarrolladas para su alineación y contribución al cumplimiento de los ODS y sus metas. En este caso, consideramos la necesidad de la profesionalización de las autoridades locales encargadas del tema ambiental con énfasis en temas legales y de obligaciones de sus respectivos cargos, gestión de riesgos en el contexto de cambio climático, búsqueda de financiamiento y vinculación con otras autoridades de los tres niveles de gobierno.
- III. Foro las Juventudes por el Desarrollo Sustentable de Morelos: con tres emisiones, esta actividad promete ser una plataforma de participación juvenil creada para la divulgación de las acciones que han realizado el sector juvenil para contribuir en desarrollo sustentable de Morelos. Este foro ha permitido la participación de adolescentes y jóvenes de los 36 municipios del estado y los diferentes sectores impulsores del desarrollo sustentable como el académico, las organizaciones de la sociedad civil, agrícola, de mujeres y de comunidades indígenas. Uno de los mayores logros en sus dos últimas emisiones es la creación del Catálogo de Acciones Juveniles Voluntarias por el cumplimiento de la Agenda 2030 y los ODS, con énfasis en la acción climática. Este catálogo fue entregado al poder ejecutivo estatal.

- IV. Foro Barrancas de Morelos: reconectando con las venas de la tierra. La situación de algunos ríos y barrancas morelenses contrasta con su valor ecosistémico, pues su adecuada conservación asegura a los morelenses el bienestar a largo plazo. Algunos de los servicios ecosistémicos más valiosos que proveen son la reducción de riesgos, la adaptación al cambio climático, la provisión de suelos fértiles y agua potable, así como una fuerte vinculación cultural, crecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, recreación e identidad cultural. Nacido desde las experiencias de la sociedad civil, este foro contribuyó a la discusión sobre la importancia de su conservación, sus valores culturales y cómo estos ecosistemas pueden ser considerados esenciales para la adaptación al cambio climático en Morelos. Además, apoya en difundir la adaptación basada en ecosistemas, la cual consiste en la utilización de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, como parte de una estrategia de adaptación amplia, que puede ser costo-efectiva y generar beneficios sociales, económicos y culturales y, con ello, contribuir a la conservación de la biodiversidad⁶.

Conclusiones

La educación ambiental en Morelos es clave para enfrentar los desafíos que presenta el cambio climático. Las iniciativas promovidas desde la Secretaría de Desarrollo Sustentable, como los talleres y los foros que involucran a infancias, juventudes y servidores públicos, han sido esenciales para fortalecer la conciencia ambiental y fomentar la participación comunitaria en la búsqueda de soluciones sustentables. Estas acciones, enfocadas en la capacitación y sensibilización de la ciudadanía, no solo permiten mitigar los efectos del cambio climático, sino que también facilitan la adaptación a sus impactos en las comunidades morelenses. Por ello, se sugiere el adecuado seguimiento y evaluación de los impactos del programa de educación ambiental, además de continuar fortaleciendo estos esfuerzos, garantizando que más sectores de la sociedad se involucren activamente en la protección de los ecosistemas que nos ayudarán a enfrentar los retos derivados del cambio climático.

Referencias bibliográficas

1. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2006). *Plan de aplicación internacional*. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001486/148654so.pdf>
2. Leff, E. (2002). *Saber Ambiental. Sustentabilidad racionalidad, complejidad, poder*. Siglo XXI.
3. Left, E. (2006). Ética por la vida. Elogio de la voluntad de poder. *Polis: Revista Latinoamericana*, (13), 1-19.
4. Miranda Murillo, L. M. (2013). Cultura ambiental: un estudio desde las dimensiones de valor, creencias, actitudes y comportamientos ambientales. *Producción + limpia*, 8(2), 94-105.

5. Sotelo-Caro, O., & Chichia-González J. (2020). Análisis del cambio de cobertura vegetal y su efecto en la biodiversidad. En Comisión Estatal de Biodiversidad (Ed.), *La biodiversidad en Morelos. Estudio de Estado: Vol. 2* (pp. 133-144). COESBIO.
6. Lhumeau, A., & Cordero, D. (2012). *Adaptación basada en Ecosistemas: una respuesta al cambio climático*. UICN.



Cambio climático y educación ambiental: una oportunidad para la conservación de las barrancas del norponiente de Morelos

Víctor Flores-Armillas^{1*}, Jazmín González-Zurita², Oswaldo Flores-Armillas³

¹Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, ²Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de México y ³Comisión de gestión de ecosistemas, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

*victor.flores@uaem.mx

Resumen

Algunos de los efectos del cambio climático más notables son el aumento de la variabilidad e incertidumbre en el ciclo del agua, lo que constituye una amenaza a los ecosistemas, al derecho humano al agua potable y al saneamiento. Para hacer frente a estos cambios, se considera prioritario realizar ajustes en los sistemas ecológicos y sociales. Se propone emplear el enfoque adaptación basada en ecosistemas en un marco de acciones relacionadas a generar las condiciones para que los individuos desarrollen conductas proambientales que incidan en la conservación ecosistemas prioritarios.

Palabras clave: conservación, biodiversidad, adaptación basada en ecosistemas.

Introducción

Las actividades humanas han provocado un aceleramiento en el proceso de calentamiento global de aproximadamente 1 °C y se espera que llegue a 1.5 °C entre 2030 y 2052¹. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) advierte, en su último informe, que, con un aumento de la temperatura media de la superficie del planeta mayor a 1 °C, los impactos y riesgos debidos al cambio climático serán severos y que, a medida que aumente el calentamiento global, aumentarán los riesgos de desastres ocasionados por eventos meteorológicos extremos².

Algunos de los efectos del cambio climático más notables son el aumento de la variabilidad e incertidumbre en el ciclo del agua que reduce la capacidad de provisión y constituye una amenaza de derecho humano al agua potable y al saneamiento. Además, estos cambios ya están repercutiendo en diferentes aspectos de la biodiversidad. De acuerdo con escenarios o pronósticos (modelos globales de circulación), en las próximas décadas el impacto del cambio climático se verá reflejado en modificaciones en la composición y funcionamiento de los ecosistemas, los cuales tendrán como resultado un aumento en la tasa de pérdida de hábitat; tarde o temprano, influirán en la extinción de especies^{3,4}.

Debido a su ubicación, evolución geológica y distribución de sus ecosistemas, las barrancas del norponiente de Morelos (BNM) proveen de importantes servicios ecosistémicos para las ciudades y otras comunidades humanas de esa región⁵. Se reconoce la importancia de las BNM para la provisión de variados servicios ecosistémicos, como el suministro del agua, la regulación de riesgos por inundaciones y del microclima, la formación de suelos e importantes servicios culturales. Además, no solo generan una mejor integridad ecológica de la región, sino también son soporte de los medios de vida que se desarrollan en la zona conurbada de Cuernavaca. Sin embargo, son ecosistemas que han sufrido transformaciones, cambio de uso de suelo y contaminación desde la fundación de los centros de población que se ubican sobre ellos.

En Morelos, la pérdida de los ecosistemas está relacionada con el aprovechamiento de los recursos naturales y del territorio, situación que se exagera con el cambio climático. Se identifican principalmente la deforestación, los incendios, el aumento de la frontera agrícola⁶ y finalmente el cambio del uso de suelo como agentes que causan la degradación de los servicios ecosistémicos.

Los tipos de vegetación más representativas de las barrancas, como el bosque de galería, los bosques de encino y las selvas bajas caducifolias, se ven impactados por el cambio en la cobertura vegetal. En estudios llevados a cabo en el estado⁶ se concluye que, en el periodo 2004-2016, los bosques de galería, relacionados a ríos y barrancas, fueron los más afectados con una tasa de cambio de 3.68 %, lo que equivale a 9096 hectáreas. Por otro lado, el bosque de encino perturbado, que se ubica en las zonas sur y media del corredor biológico Chichinautzin y en las barrancas, presenta una tasa de cambio de 2.70%. En este sentido, los cambios de uso de suelo podrían representar afectaciones futuras, como el incremento de la temperatura local y una menor disposición de recarga en los acuíferos. Lo anterior repercutiría en la disposición del agua para la población de la zona conurbada.

En este contexto, se vuelve prioritario usar enfoques innovadores integrales que incrementen el impacto de las intervenciones ambientales y generen beneficios positivos a la biodiversidad y la población. Entre estos enfoques, la adaptación basada en ecosistemas (AbE) se ha venido posicionando como una estrategia para responder ante el cambio climático. Esta forma parte de las soluciones basadas en la naturaleza (SbN), y enfoca a la población humana como elemento central de la adaptación, además de que consta del uso de la biodiversidad y sus servicios como parte de una estrategia general para enfrentar los efectos negativos del cambio climático⁷.

Al hablar de las barrancas y en el análisis de cómo usar el enfoque AbE para su adaptación a los cambios venideros del clima, estos pueden ser considerados como intervenciones vinculadas con el aumento de la integridad ecológica de ecosistemas como reforestación, fomento a la regeneración natural, obras de conservación de suelo y agua, así como acciones de prevención y combate de incendios. Además, se considera muy útil emplear el enfoque AbE ya que: *a)* reduce las vulnerabilidades sociales y ambientales; *b)* genera beneficios sociales en el contexto de la adaptación al cambio climático; *c)* restauran, mantienen o mejoran la salud ecosistémica; *d)* cuentan con el respaldo de políticas a múltiples niveles, y *e)* apoyan a la gobernanza equitativa y mejora capacidades locales. En este sentido, pueden ser intervenciones más costo-efectivas y con mejores resultados a largo plazo que las medidas grises o de infraestructura tradicional.

La AbE puede representar una opción viable para salvaguardar el capital natural de las BNM. Asimismo, se puede avanzar en su implementación al generar las condiciones para que la población tome acción y al promover mecanismos de gobernanza para la sostenibilidad de las acciones a largo plazo. Para tener un mayor éxito, estas medidas deberán ser acompañadas de estrategias de divulgación y la educación ambiental, la cual es una disciplina que busca formar al individuo para que establezca una relación armónica con la naturaleza, analice la problemática ambiental actual y conozca el papel que juega en la transformación de la sociedad a fin de alcanzar mejores condiciones de vida⁸.

Con base en la complejidad de intervención en las BNM, se propone incluir las siguientes temáticas, en el orden propuesto por Murillo (2013)⁹, para fomentar las condiciones que los individuos necesitan en el desarrollo de conductas proambientales en apoyo a la gestión del territorio, además de la implementación de la AbE y la conservación de los ecosistemas:

- I. Conocer adecuadamente la problemática ambiental. En particular, las relacionadas con el manejo de los residuos sólidos, las aguas residuales, así como la invasión a la zona federal, recalando la importancia de los servicios ecosistémicos y cómo se ven afectados por una mala gestión de las problemáticas.
- II. Fomentar la motivación. Se plantea hacer énfasis en las memorias y recuerdos de vivencias personales y comunitarias para incentivar la esperanza y el deseo de que las nuevas generaciones disfruten de las barrancas como lo hicieron las personas mayores. En este sentido, se sugiere que la estrategia de educación ambiental se posicione en los servicios culturales que ofrecen las barrancas.
- III. Que los ciudadanos se vean capaces de generar cambios. Debido a la complejidad del territorio, se sugiere apoyarse en la motivación de las personas para instigar acciones concretas que puedan ser llevadas por diferentes actores de las comunidades.
- IV. Propiciar el convencimiento de la ciudadanía en cuanto a la efectividad de sus acciones. Esto puede lograrse desarrollando un plan de participación ciudadana dividido territorialmente para las comunidades que tienen influencia en las BNM con enfoque en las problemáticas ambientales priorizadas.

Conclusiones

El cambio climático y las transformaciones del uso de suelo en las barrancas del norponiente de Morelos representan un reto urgente para la sostenibilidad ambiental y el bienestar humano. El cambio de uso de suelo, los impactos en los ecosistemas y la disminución de sus servicios exigen una intervención inmediata basada en enfoques integrales como la adaptación basada en ecosistemas y de generación de conductas proambientales. Esta estrategia no solo aborda los desafíos en la región, sino que también fomenta la resiliencia comunitaria, combinando acciones de conservación con educación ambiental y participación ciudadana.

Referencias bibliográficas

1. Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (2013). *Cambio climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de Trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático*. Cambridge University Press.
2. Panel Intergubernamental de Cambio Climático. (2021). *El cambio climático es generalizado, rápido y se está intensificando*. Comunicado de Prensa del IPCC.
3. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2010). *Estrategia de Cambio Climático para Áreas Protegidas*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
4. Glick, P., Stein, B. A., & Edelson, N. (2011). *Scanning the Conservation Horizon: A Guide to Climate Change Vulnerability Assessment*. National Wildlife Federation.
5. Flores-Armillas, V., González-Zurita, J., Saldaña, C., Jaramillo, F., Vargas-Cardoso, O., & García-Flores, A. (2022). Perspectivas de la participación ciudadana en las barrancas del norponiente de Morelos, voces al extremo sur del Bosque de Agua. En V. Ávila-Akerberg & T. González-Martínez (Eds.), *Científicos y Sociedad en Acción por la Biodiversidad y la Sustentabilidad del Bosque de Agua de la Megalópolis de México* (pp. 79-83). Universidad Autónoma del Estado de México.
6. Sotelo-Caro, O., & Chichia-González J. (2020). Análisis del cambio de cobertura vegetal y su efecto en la biodiversidad. En Comisión Estatal de Biodiversidad (Ed.). *La biodiversidad en Morelos. Estudio de Estado: Vol. 2* (pp. 133-144). COESBIO.
7. United Nations Environment Programme, & World Conservation Monitoring Centre. (2019). *Making EbA an effective part of balanced adaptation strategies: Introducing the UNEP EbA briefing notes*. UNEP.
8. Secretaría de Educación Pública. (2023). *Educación ambiental*. <https://educacionambiental.sep.gob.mx/>
9. Miranda Murillo, L. M. (2013). Cultura ambiental: un estudio desde las dimensiones de valor, creencias, actitudes y comportamientos ambientales. *Producción + limpia*, 8(2), 94-105.



Efecto del cambio de uso de suelo en la captura de CO₂ en el estado de Morelos

Victoria Bustos-Terrones^{*}, Julio Mark Aguilar Hernández¹, Juan Gabriel Loaiza²

¹Universidad Politécnica del Estado de Morelos e ²Instituto Tecnológico de Culiacán.

*vbustos@upemor.edu.mx

Resumen

Se evaluó la capacidad de captura de dióxido de carbono (CO₂) del estado de Morelos en función del análisis de cobertura vegetal y cambio de uso de suelo para el periodo 1986-2014. Se usó el sistema de información geográfica (SIG), *softwares* como ArcGis, Qgis e IDRISI, además de métodos estadísticos planteados por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). La metodología utilizada permitió obtener las diferencias en la cobertura vegetal del suelo en el periodo de estudio. Con lo que se estimó que, debido al cambio de uso de suelo de 1467 hectáreas en este lapso, se dejó de absorber un total de 120.5 gigagramos (Gg) de CO₂. Lo que significa un incremento de las emisiones generadas por las actividades antropogénicas.

Palabras clave: captura de dióxido de carbono, cambio climático, sistema de información geográfica.

Introducción

El papel del dióxido de carbono (CO₂), en el cambio climático, tiene que ver con su capacidad de atrapar el calor en la atmósfera. El aumento excesivo en la concentración de CO₂, también conocido como anhídrido carbónico, conduce al aumento de la temperatura promedio de la Tierra, es decir, al cambio climático. Este, tiene efectos perjudiciales como el incremento en el nivel del mar, el descongelamiento de los glaciares, alteraciones en los patrones de precipitación, etc. En otras palabras, problemas ambientales y meteorológicos. El CO₂ proviene de la quema de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón, el gas natural, la deforestación

y la desaparición de los humedales¹. Con relación a la deforestación, para el periodo 2015-2020, se reportó un promedio neto anual de 127 800 hectáreas (ha), de acuerdo con una investigación internacional². La cual también hace referencia a la vulnerabilidad de nuestro país ante el cambio climático debido a sus características geográficas y socioeconómicas. Tan solo la sequía se agudizó en más del 50 % del territorio nacional en el 2022. Esta situación genera calor extremo, mayor demanda de agua, incendios de bosques y pastizales, inundaciones, entre otras.

Quizás te preguntes porqué la deforestación impacta tanto en la disminución de la captura de CO₂. La respuesta es la siguiente: los bosques funcionan como sumideros naturales de carbono. Es decir, mediante la fotosíntesis captan el carbono de la atmósfera, lo transforman y lo almacenan a través de la madera durante largos periodos. Los océanos también absorben CO₂, participando en el ciclo del carbono. Sin embargo, por más grandes que sean los sumideros marítimos y terrestres, estos no son capaces de capturar las enormes cantidades de CO₂ que producimos^{3,4}. Una de las grandes causas de la deforestación es la urbanización no planificada⁵; dicho de otra forma, el crecimiento de las zonas urbanas sin un orden.

Por otro lado, el cambio en el uso del suelo puede entenderse como la modificación o alteración del paisaje, o como la vocación natural de los terrenos, transformando el funcionamiento de los ecosistemas. Aunque estas alteraciones pueden generarse por fenómenos naturales como los deslizamientos de suelos y rocas, hundimientos, erosiones e inundaciones; su principal causa es la expansión agrícola, la tala forestal y el incremento en la densidad poblacional que obliga a la expansión de la mancha urbana. Hoy en día, cuando se habla de cambio de uso de suelo, se hace referencia a la ocupación parcial o total de una superficie para una función de desarrollo específica, ya sea de uso rural o urbano. De esta manera, se conforma una estructura planeada para el desarrollo social, político y económico de una sociedad en particular. Entonces se habla de un ordenamiento territorial.

La cobertura del suelo y los cambios que pudiera tener están condicionados por el tamaño de la población y la rapidez de su desarrollo⁶. Influyen también aspectos como el clima, la topografía, el tipo de suelo, el tipo de vegetación y la disponibilidad de agua. Por ello, un cambio de uso de suelo debe considerar un análisis minucioso a partir de la integración de diversas disciplinas.

El avance de la tecnología ha permitido el uso de imágenes satelitales, en diferentes momentos, para analizar los cambios de un terreno en particular. Satélites como Landsat, EROS, QuickBird, SPOT, que visualizan casi la totalidad de la cobertura terrestre, proveen de imágenes que permiten determinar los cambios de uso de suelo.

El estado de Morelos se ubica entre las siguientes coordenadas: al norte, 19° 07'; al sur, 18° 22' de latitud norte, y al este, 93° 37'; al oeste, 99° 30' de longitud oeste. Tiene además una extensión de 4879 km² y representa el 0.2 % de la superficie de nuestro país. De acuerdo con el último censo poblacional del Instituto Nacional de Estadística y Geografía del 2020⁷, el número de habitantes en el estado es de 1 971 520. Es una entidad atractiva dados su clima y sus riquezas naturales. Esto hace que el cambio de uso de suelo se vea inclinado hacia la zonificación urbana, disminuyendo la cobertura vegetal y, por consiguiente, la capacidad de captura

de CO₂. El 54.1 % de su superficie está cubierta por zonas agrícolas; el 11.4 %, de bosques; 26.9 %, de selvas, y un 7.6 %, por otros tipos de vegetación (hidrófila, palmar), cuerpos de agua y áreas urbanas.

Metodología

La figura 1 presenta el diagrama de flujo de las etapas de la metodología seguida en el presente trabajo.

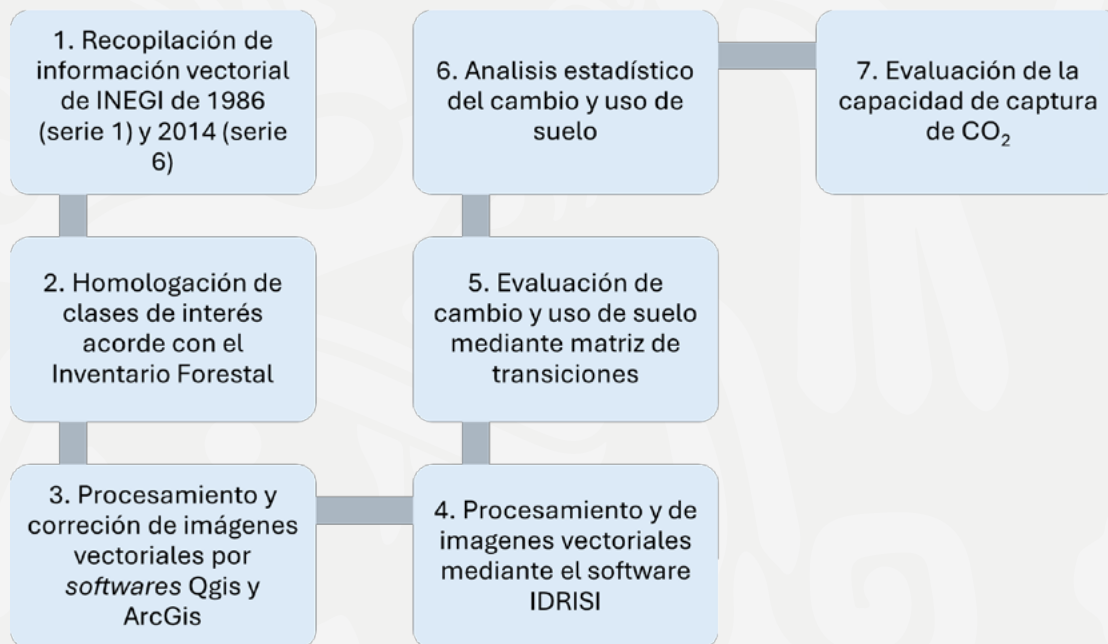


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología.

Las imágenes vectoriales fueron corregidas utilizando sistemas de información geográfica. Las capas vectoriales se descargaron del geoportal de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Para la determinación de las emisiones de CO₂ equivalente (CO_{2eq}), se empleó el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2013.

El desarrollo del punto 5 se llevó a cabo mediante la técnica de “análisis multitemporal” a partir de la superposición de imágenes. Se generó una matriz de transiciones a través del uso del *software* IDRISI. Después de obtener los cambios totales, se estimó la tasa anual de cambios mediante la ecuación 1⁸.

$$r = \left[\frac{A_2}{A_1} \right]^{\frac{1}{n}} - 1 * 100\% \quad (1)$$

Donde r es la tasa anual de cambios; A_1 , la superficie de biomasa forestal del año de inicio del periodo; A_2 , la superficie de biomasa forestal al final del periodo, y n , el intervalo de los años de estudio.

Para la evaluación del contenido de carbono en la biomasa forestal y sus cambios, se utilizó el IPCC (2006), aplicando factores de emisión y la ecuación 2.

$$DA \times FE / FA = EsEm / AbCO_2 \quad (2)$$

Donde DA son los datos de actividad; FE/FA , los factores de emisión (FE) y/o factor de absorción (FA); mientras que $EsEm/Ab$, las estimaciones de emisiones /absorciones de CO_2 .

Resultados

La tabla 1 presenta los cambios ocurridos en cada categoría de suelo en un periodo de 28 años (abarcado por este trabajo), así como el total de absorción (valores con signo negativo) y emisión de CO_2eq en Gg para cada subcategoría.

Tabla 1. Emisiones de CO_2 generadas por cada una de las seis categorías de uso de suelo	
Subsector	Emisiones (Gg CO_2eq)
Tierras forestales que permanecen como tierras forestales	-77.46
Tierras convertidas en tierras forestales	-28.97
Praderas que permanecen como praderas	-1.57
Tierras convertidas en praderas	-2.58
Tierras agrícolas que permanecen como tierras agrícolas	-780.46
Tierras forestales convertidas en praderas (deforestación)	120.50

La figura 2 muestra las pérdidas y ganancias de las diferentes clases de uso de suelo durante los últimos 28 años.

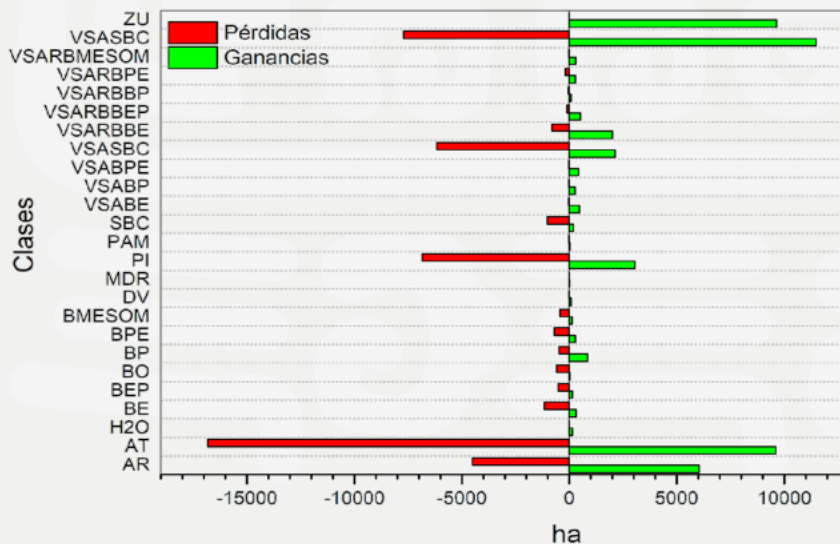


Figura 2. Representación gráfica de pérdidas y ganancias en los usos de suelo.

ZU: Zona Urbana, VSASBC: vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VSARBMESOM: vegetación secundaria arbórea de bosque mesófilo, VSARBPE: vegetación secundaria arbórea de bosque de pino encino, VSARBBP: vegetación secundaria arbórea de bosque pino, VSARBPEP: vegetación secundaria arbórea de bosque encino pino, VSARBBE: vegetación secundaria arbórea de bosque encino, VSASBC: vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia, VSABPE: vegetación secundaria arbustiva de bosque pino encino, VSABP: vegetación secundaria arbustiva de bosque pino, VSABE: vegetación secundaria arbustiva de bosque encino, SBC: selva baja caducifolia, PAM: pradera de alta montaña, PI: pastizal inducido, MDR: matorral xerófilo, DV: desprovisto de vegetación, BMESOM: bosque mesófilo, BPE: bosque pino encino, BP: bosque pino, BO: bosque oyamel, BEP: bosque encino pino, BE: bosque encino, H2O: cuerpos de agua, AT: agricultura de temporal, AR: agricultura de riego.

Por destacar algún ejemplo de acuerdo con la figura 2, la clase de ZU tuvo una ganancia o creación de nuevos espacios destinados a asentamientos humanos de 9643.34 ha, lo que genera una disminución en la absorción de CO₂. Esto puede justificarse gracias al crecimiento económico que ha tenido el estado de Morelos, debido a su cercanía con la capital del país. Mientras, AT tuvo un decremento, y el origen pudo haber sido un intercambio de subcategorías en las zonas destinadas a agricultura de temporal que pasaron a ser agricultura de riego para satisfacer la demanda del crecimiento de población u exportación de bienes primarios, por lo que la ganancia neta en materia de absorción de CO₂ es muy poca. Además, considerando que el crecimiento de los asentamientos urbanos conlleva una mayor demanda de recursos para satisfacer sus necesidades, este beneficio podría llegar a ser nulo.

Para calcular las emisiones totales, se consideró la subcategoría de tierras convertidas a praderas, es decir, las deforestaciones. Las absorciones totales se obtuvieron mediante la sumatoria de las subcategorías que permanecieron sin cambios. Estas fueron las “tierras forestales que permanecen como tierras forestales”, “pastizales que permanecen como pastizales” y “tierras agrícolas que permanecen como tierras agrícolas”, etc. Las absorciones totales calculadas fueron de 891.04 Gg de CO_{2eq}. De lo anterior se estima que, debido al cambio de uso de suelo de 1467 ha, se dejó de absorber un total de 120.5 Gg de CO_{2eq}, cantidad que se suma a las emisiones antropogénicas del estado de Morelos y de México. Recordemos que México está dentro de los 15 países con mayor emisión de gases de efecto invernadero, con una aportación de 1.28 % de las emisiones totales⁹.

Conclusiones

El aumento de emisiones de CO₂, estrechamente relacionado con el crecimiento económico y el avance desmesurado de asentamientos humanos, ha tenido como resultado la perturbación de zonas edáficas, siendo estas acotadas. Tan solo se tienen 891.04 Gg de CO_{2eq} absorbido en el periodo de 1986-2014, puntualizando que se debe optar por una mejor gestión e implementación de políticas ambientales en el estado para la reducción de cambios de uso de suelo. Por ejemplo, poner en funcionamiento programas de concientización de

la población para un mejor aprovechamiento del suelo, evitar la perturbación de áreas naturales protegidas, promover la instauración de coberturas vegetales, y algunas otras medidas de mitigación.

El uso e incorporación de nuevas herramientas, como los sistemas de información geográfica y la teledetección, permiten estimar la magnitud de los cambios asociados a los procesos diferenciales de modificación de cobertura vegetal y uso del suelo, permitiendo la correcta gestión para la prevención de impactos ambientales más severos y métodos correctivos para los ya presentes, además de una mejor sostenibilidad del mundo que habitamos.

Referencias bibliográficas

1. Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, & Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2013). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*.
2. World Resources Institute. <https://es.wri.org/>
3. Santos Burguete, C. (2018). *Física del caos en la predicción meteorológica*. Ministerio para la Transición Ecológica, Agencia Estatal de Meteorología. <https://doi.org/10.31978/014-18-009-X>
4. Farías, L. (2022). *Análisis (CR) 2. “Cuando la realidad supera la ficción”: el caso de los modelos de emisiones de metano y óxido nitroso (gases de efecto invernadero) en el océano*. Center for Climate and Resilience Research. <https://www.cr2.cl/analisis-cr2-cuando-la-realidad-supera-la-ficcion-el-caso-de-los-modelos-de-emisiones-de-metano-y-oxido-nitroso-gases-de-efecto-invernadero-en-el-oceano/>
5. George, J., Baby, L., Arickal, A. P., Vattoly, J. D., & Use, L. (2016). Land use/land cover mapping with change detection analysis of Aluva Taluk using remote sensing and GIS. *International Journal of Science, Engineering and Technology*, 4(2), 383-389.
6. Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision [ESA Documento de trabajo, Núm. 12-03. Rome, FAO].
7. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de población y vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/#tabulados>
8. Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz-Gallegos, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E., & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*, (62), 21-37.
9. Climate Watch. (2025). *What climate commitments has Mexico submitted?* https://www.climatewatchdata.org/countries/MEX?end_year=2021&start_year=1990