

## Estado del Cambio Climático en México: Biodiversidad

Grupo de Investigación e Incidencia en la Biología del Cambio Climático (InBioCC): Aguirre-Liguori, Jonas A.<sup>1</sup>; Álvarez-Filip, Lorenzo<sup>2</sup>; Búrquez-Montijo, Alberto<sup>3</sup>; Correa-Metrio, Alex<sup>4</sup>; Cuervo-Robayo, Ángela P.<sup>5,6</sup>; Domínguez, Omar<sup>7</sup>; Escobedo-Galván, Armando H.<sup>8</sup>; Garrido-Garduño, Tania<sup>9</sup>; Gómez-Ruiz, Pilar Angélica<sup>10</sup>; Jiménez-García, Daniel<sup>11</sup>; Lara-Resendiz, Rafael<sup>12</sup>; Luna-Aranguré, Carlos<sup>13</sup>; Martínez-Meyer, Enrique<sup>5</sup>; Mendoza-González, Gabriela<sup>14</sup>; Nava-Bolaños, Angela<sup>15</sup>; Ochoa-Ochoa, Leticia M.<sup>16</sup>; Prieto-Torres, David A.<sup>9</sup>; Ramírez-Barahona, Santiago<sup>5</sup>; Sáenz-Romero, Cuauhtémoc<sup>17</sup>; Velasco, Julián A.<sup>13</sup>.

### Introducción

Existe una amplia evidencia que documenta los impactos del cambio climático (CC) contemporáneo en la biodiversidad a escala global (Pecl et al., 2017; Scheffers et al., 2016). Algunos estudios han encontrado evidencia de asociaciones entre declives y extinción local de poblaciones de plantas y animales e incrementos en temperaturas máximas (Román-Palacios & Wiens, 2020; Wiens, 2016). De igual forma, existe evidencia de alteraciones en procesos biológicos y ecológicos (e.g., fenología, reproducción, demografía) que ocurren en diferentes

<sup>1</sup> Departamento de Ecología Tropical, Universidad Autónoma de Yucatán, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Mérida, Yucatán, México

<sup>2</sup> Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.

<sup>3</sup> Instituto de Ecología, Unidad Hermosillo, Universidad Nacional Autónoma de México, Hermosillo, Sonora, México.

<sup>4</sup> Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, México.

<sup>5</sup> Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México

<sup>6</sup> Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), CDMX, México.

<sup>7</sup> Laboratorio de Biología Acuática, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

<sup>8</sup> Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

<sup>9</sup> Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Estado de México, México.

<sup>10</sup> Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México.

<sup>11</sup> Centro de Agroecología y Ambiente, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Puebla, México.

<sup>12</sup> Centro de Zoología Aplicada, Instituto de Diversidad y Ecología Animal (IDEA), Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Córdoba, Argentina.

<sup>13</sup> Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.

<sup>14</sup> Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS), Instituto de Ecología, ENES-Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México, Yucatán, México.

<sup>15</sup> Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación, Facultad de Ciencias, Campus Juriquilla, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, México.

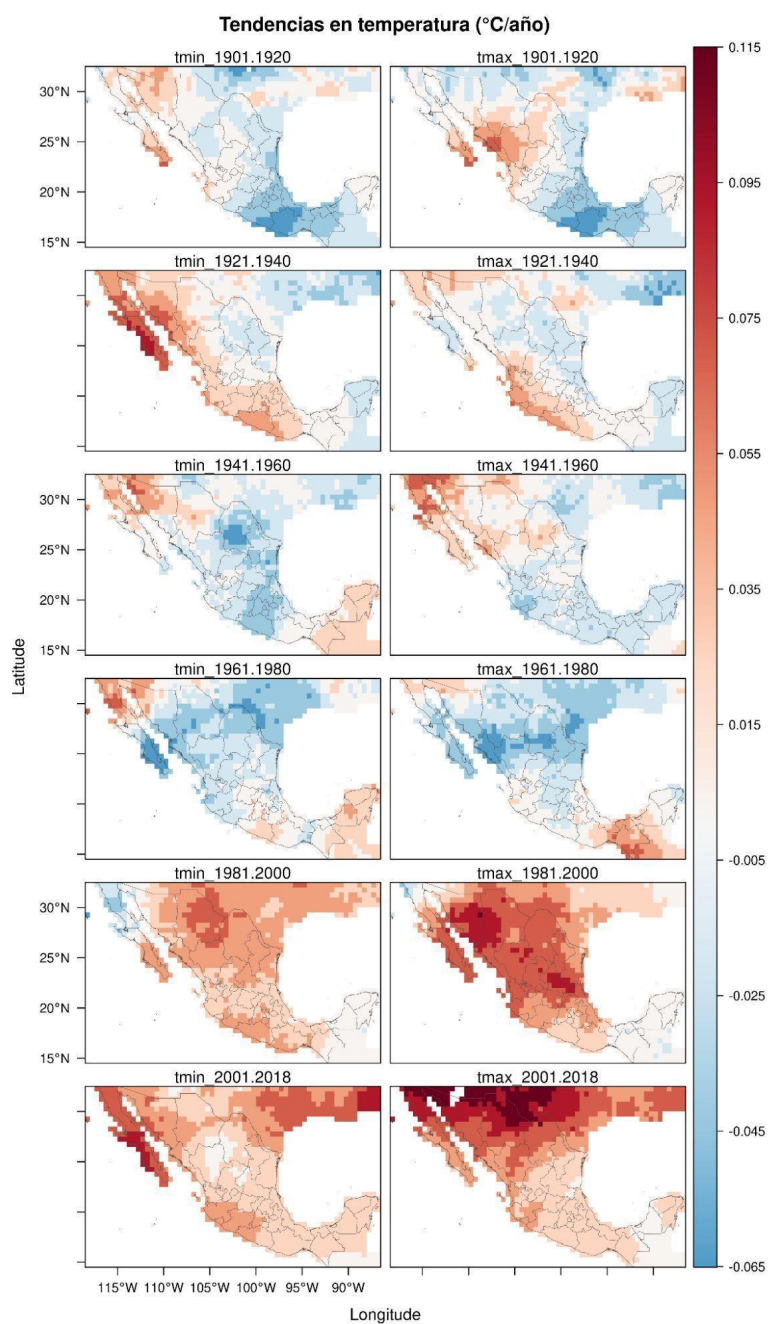
<sup>16</sup> Museo de Zoología "Alfonso L. Herrera", Departamento de Biología Evolutiva, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, CDMX, México.

<sup>17</sup> Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México. Autor de correspondencia: Enrique Martínez Meyer.

escalas de organización, desde el nivel genético (e.g., pérdida de diversidad genética, cambios en la estructura y composición del genoma) hasta el nivel de ecosistemas (e.g., cambios en flujos de energía y almacenamiento de carbono) (Scheffers et al., 2016). Las evidencias hasta la fecha sugieren que el cambio climático exacerbará el efecto de otros factores antrópicos que ya están amenazando a las especies y ecosistemas, como son la pérdida de hábitat, especies invasoras, contaminación, brotes de patógenos, entre otras (Pacifi et al., 2015; Urban, 2015). Sin embargo, la mayor parte de la evidencia de los impactos se concentra en especies y ecosistemas de regiones templadas de países del norte global (Antão et al., 2020; Lenoir et al., 2020; Pecl et al., 2017; Scheffers et al., 2016; Hammond et al., 2022), existiendo muy poca información acerca de los impactos para especies y ecosistemas tropicales y subtropicales.

México es reconocido por su alta diversidad de especies y endemismos, lo cual se debe a diferentes factores históricos y geográficos al ubicarse en una zona de transición biogeográfica entre la región Neártica y la Neotropical (Morrone 2020). La biodiversidad mexicana está compuesta de linajes adaptados a condiciones frías o de afinidad Neártica y de linajes adaptados a condiciones cálidas o de afinidad Neotropical. Esta heterogeneidad de su biodiversidad lo hace particularmente vulnerable al cambio climático. En este sentido, México es un país muy importante para comprender cómo el cambio climático ha, está y podría afectar a la biodiversidad, así como para entender cómo la combinación de rasgos ecológicos e historia evolutiva podría ayudarnos a entender la forma en que las especies responden a los cambios en los regímenes climáticos. En particular, ya se han detectado incrementos de temperaturas máximas y mínimas en algunas regiones del país (Cuervo-Robayo et al., 2020), que superan los promedios globales en el siglo XX y XXI (véase **Figura 1**).

**Figura 1.** Tendencias locales en temperaturas mínimas y máximas para México en los últimos 118 años. Tmin: temperatura mínima mensual; Tmax: temperatura máxima mensual.



Cada fila corresponde a un período de tiempo específico (~20 años) que abarca desde 1901 hasta 2018.  
Fuente: Harris et al., 2020.

## **Estado del conocimiento sobre cambio climático en México**

### ***Dinámica paleoclimática y paleo-ecológica***

En México, existe una amplia variedad de estudios que han contribuido a entender las dinámicas locales y regionales de los procesos de cambio climático del pasado (Aragón-Moreno et al., 2018; Bocanegra-Ramírez et al., 2019; Correa-Metrio et al., 2012), han contribuido con información valiosa sobre los efectos de la variabilidad climática en la estructura y composición de comunidades biológicas. Estos estudios son esenciales para comprender las posibles respuestas de las especies frente a escenarios futuros. En México, se ha reportado que el cambio entre condiciones glaciales del último Máximo Glacial (hace ~21,000 años) y el interglacial (hace ~121,000 años) en que actualmente nos encontramos estuvo alrededor de los 4 y 8 °C para elevaciones altas y bajas, respectivamente (Caballero et al., 2010, 2019; Correa-Metrio et al., 2013). Estas temperaturas bajas provocaron tanto una reducción en precipitación como cambios en los patrones estacionales (Caballero et al., 2019). Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos periodos glaciales e interglaciales no son análogas a las condiciones del presente o futuras debido a la velocidad a la que ocurrieron estos cambios (e.g., varios miles de años en el pasado vs. décadas en el presente y futuro). Durante los últimos 10,000 años, conocido como el periodo Holoceno, el clima ha sido más cálido con una tendencia a condiciones más secas y fluctuaciones puntuales (Lozano-García et al., 2013; Roy et al., 2019; Vázquez-Molina et al., 2016). Estas fluctuaciones tuvieron un impacto en la estructura y composición de la vegetación y la re-estructuración de ecosistemas en México (Lozano-García et al., 2007; Olivares-Casillas et al., 2021; Wogau et al., 2022).

### ***Cambio climático contemporáneo***

La información que se tiene hasta la fecha sobre los impactos del cambio climático contemporáneo en la biodiversidad es bastante limitada y dispersa. En el caso de la fauna mexicana, se han realizado muy pocos estudios que aborden los impactos del cambio climático contemporáneo sobre los procesos ecológicos y evolutivos (Martínez-Meyer y Velasco, 2023).

Por otra parte, algunos ecosistemas han sido objeto de algunos estudios puntuales y se describen brevemente a continuación:

### ***Ecosistemas marinos y costeros***

En los sistemas costeros y marinos del Caribe mexicano, se estima que, desde la década de 1970, la cantidad de corales duros ha disminuido drásticamente, de un 50 % del suelo arrecifal cubierto por corales a un 10 % en el presente (Contreras-Silva et al., 2020). Durante los eventos ENSO, en particular El Niño de 1997-1998, se observaron eventos de blanqueamiento de coral que resultaron en una pérdida superior al 90 % de la superficie coralina en la costa de Oaxaca y Jalisco (Reyes-Bonilla et al., 2002). Sin embargo, los arrecifes de coral de la costa del Pacífico mexicano se han recuperado de estos eventos de mortalidad gracias a su alta resiliencia y estabilidad térmica particularmente los que están ubicados en la costa del Pacífico tropical oriental (Romero-Torres et al., 2020). Estos arrecifes están dominados por un género de coral *Pocillopora spp*, que se caracteriza por su rápido crecimiento (Glynn & Ault, 2000), lo que permite su recuperación en pocos años en ausencia de otros factores de estrés. No obstante, en el mediano y largo plazo donde se proyectan olas de calor más frecuentes e intensas, se espera que la capacidad de recuperación de estos arrecifes disminuya debido a que los periodos con ausencia de estrés térmico sean cada vez más cortos (Eakin et al., 2022).

Para el golfo de México y el mar Caribe no se han identificado eventos de mortalidad masivos posteriores a un evento de blanqueamiento (Eakin et al., 2010), e incluso después eventos de blanqueamiento no se han identificado cambios en la cobertura coralina tan severos como los reportados en el Pacífico mexicano y otras regiones del planeta (Estrada-Saldívar et al., 2021). Sin embargo, es muy probable que la degradación de los arrecifes y la rápida pérdida de cobertura coralina en la región del Caribe sea producto del efecto sinérgico de múltiples factores operando al mismo tiempo en la región (Alvarez-Filip et al., 2022). Los escenarios a futuro proyectan que la región del Caribe Mexicano será una de las zonas que experimentarán los mayores incrementos en presión por el incremento de estrés térmico y olas de calor (Muñiz-Castillo et al., 2019, 2022).

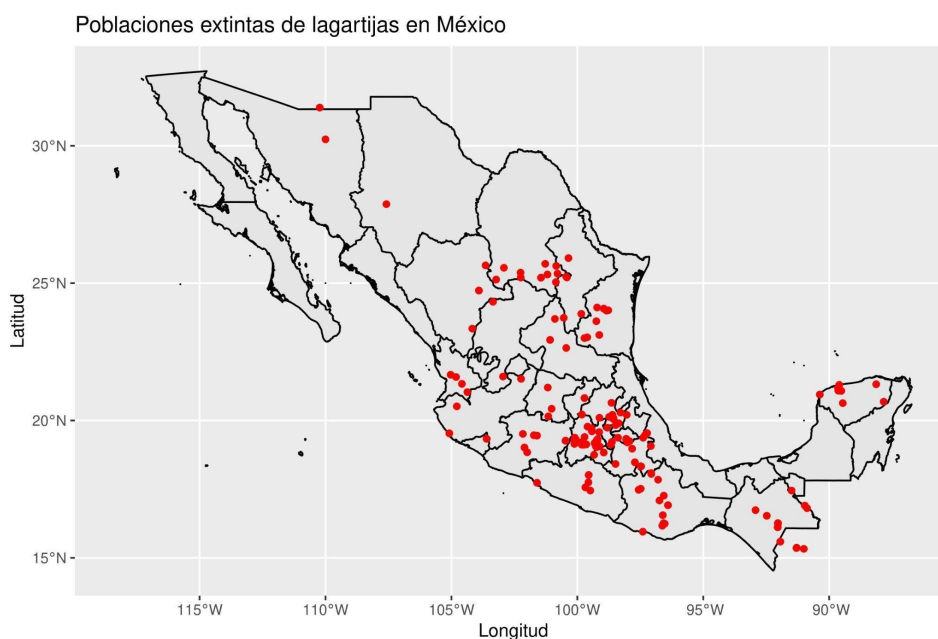
En cuanto a ecosistemas costeros, que incluyen manglares, dunas costeras y pastos marinos, se conoce muy poco sobre el impacto del cambio climático contemporáneo. Sin

embargo, estos ecosistemas son muy importantes para la regulación y protección frente a los efectos de eventos extremos como huracanes y ciclones tropicales (Mendoza-González et al., 2012, 2013, 2018). En este sentido, es prioritario emprender acciones de restauración y conservación enmarcadas dentro de las estrategias de *Adaptación basada en Ecosistemas* (AbE), definidas como el uso de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos como parte de un plan general de adaptación al cambio climático (CBD, 2009). El resultado de estos esfuerzos debe reflejarse en que el intercambio de materia y energía entre los ecosistemas costeros se mantenga, para que puedan brindar eficientemente contribuciones naturales a las personas como la protección y regulación, en particular la defensa de la línea de costa y el almacenamiento de carbono, que son claves para enfrentar el cambio climático.

### ***Ecosistemas terrestres***

La evidencia acerca de los impactos del cambio climático contemporáneo sobre especies y ecosistemas terrestres mexicanos son bastante escasos. Existe el registro de extinciones locales de al menos el 12% de las poblaciones de 48 especies de lagartijas del género *Sceloporus* por incrementos de temperaturas máximas y mínimas (Sinervo et al., 2010) (véase **Figura 2**).

**Figura 2.** Localidades donde se han reportado extinciones locales de poblaciones de especies de lagartijas del género *Sceloporus* y que son atribuibles a incrementos en temperatura en el último siglo.



Fuente: Sinervo et al., 2010.

De igual forma, se ha encontrado evidencia de declive en poblaciones de especies forestales como son encinos y coníferas, incluyendo de especies que ya estaban amenazadas de extinción, como son las del género *Picea* (Sáenz-Romero et al., 2020). Estos declives se han asociado en específico a cambios en los patrones de precipitación, en los que se ha encontrado que la estación de lluvias ha sido más corta y ha habido incrementos en la temperatura (Sáenz-Romero et al., 2020; Cruzado-Vargas et al., 2021), lo que incrementa la mortalidad de plántulas durante la estación seca y cálida marzo-mayo, dificultando el reclutamiento mediante regeneración natural (Guzmán Aguilar et al., 2020). En aves, hay evidencia de cambios en la composición de especies en algunas regiones del país a lo largo del siglo XX (Peterson et al., 2015). En particular, en las zonas desérticas (e.g., Chihuahua, Sonora, norte de Baja California) y la cuenca del río Usumacinta se reportan como las áreas con mayores tasas de extinción local y recambio de especies (Peterson et al., 2015).

En un estudio más reciente se documentaron migraciones altitudinales de al menos 500 m en bosques y pastizales en 15 volcanes del centro de México en un periodo de tres décadas (Jiménez-García et al., 2021). En particular, Jiménez-García et al. (2021) usaron sensores remotos para evaluar si los límites altitudinales de la línea de árboles en esta región montañosa habían cambiado entre 1985 y 2018. Este estudio es uno de los primeros en México que utiliza información histórica de largo plazo para analizar el impacto del cambio climático en la distribución de especies forestales.

### **Proyecciones futuras en biodiversidad**

La mayoría de estudios examinados por nosotros usan los clásicos modelos correlativos o modelos de nicho ecológico para generar proyecciones a futuro para especies que se distribuyen en México. Estos estudios permiten hacer algunas inferencias de cómo podrían cambiar las áreas de distribución de las especies y los patrones geográficos de riqueza y endemismo. En general, se han identificado algunas regiones que podrían ser más susceptibles para ganancias y pérdidas de áreas de distribución en especies endémicas (Feria Arroyo et al., 2013; Ochoa-Ochoa et al., 2012; Peterson et al., 2002; Prieto-Torres et al., 2020; Prieto-Torres,

Nori, et al., 2021; Prieto-Torres, Nuñez Rosas, et al., 2021; Prieto-Torres, Sánchez-González, et al., 2021; Trejo et al., 2011). Estos estudios, por ejemplo, proyectan extinciones locales y reducciones de hasta el 50% del tamaño actual de las áreas de distribución en varios grupos taxonómicos, principalmente de vertebrados terrestres (Feria Arroyo et al., 2013; Ochoa-Ochoa et al., 2012; Peterson et al., 2002; Prieto-Torres et al., 2020; Prieto-Torres, Nori, et al., 2021; Prieto-Torres, Nuñez Rosas, et al., 2021; Prieto-Torres, Sánchez-González, et al., 2021; Trejo et al., 2011). En algunos casos, como son las aves y anfibios, se ha encontrado que las especies amenazadas y ecológicamente restringidas tendrán un impacto negativo más marcado bajo escenarios futuros de cambio climático (Ballesteros-Barrera et al., 2022; Prieto-Torres et al., 2020).

A nivel de composición de especies y recambio espacial se han encontrado patrones geográficos variables. En grupos como son los anfibios, cuya capacidad de dispersión es baja, se ha encontrado cierta estabilidad en términos de recambio de especies bajo escenarios futuros. Las mayores pérdidas de especies para anfibios se proyectan para las regiones de la costa sureña del golfo de México y la península de Yucatán (Ochoa-Ochoa et al., 2012). En contraste, para grupos altamente móviles, se han encontrado patrones variables donde algunas regiones climáticamente homogéneas muestran alta similitud en la composición local de especies (e.g., Yucatán) y en otras regiones se proyecta una alta heterogeneidad (Prieto-Torres et al., 2019, 2020). Es clave entender que la forma como se generan estos gradientes geográficos de diversidad dependerá de la respuesta individual de cada especie frente a los escenarios futuros de cambio climático y su capacidad tanto de adaptación local y de dispersión a través del paisaje. Puesto que diversos estudios muestran incluso patrones similares entre diferentes escenarios climáticos (RCPs y SSP) y/o de dispersión, siendo los supuestos pesimistas y poco favorables donde se predicen mayor disminución y cambio en los patrones de distribución para más del 50% de las especies (Ballesteros-Barrera et al., 2022; Golicher et al., 2012; Peterson et al., 2002; Prieto-Torres et al., 2016, 2020). En la mayoría de los casos, estos patrones de cambios en la distribución de las especies se asocian directamente a modificaciones en los rangos estacionales de precipitación de los trimestres más cálidos y más fríos (Prieto-Torres et al., 2020). Aunque las especies consideradas actualmente como amenazadas y ecológicamente



restringidas a este tipo de ecosistema se reportan como las más vulnerables a estos impactos, el cambio climático impactará negativamente tanto en especies amenazadas como en aquellas consideradas como de preocupación menor para la conservación (Ballesteros-Barrera et al., 2022; Prieto-Torres et al., 2020). Además, las evidencias sugieren que las especies podrían desplazarse de altitud (200-250 m.s.n.m.) a otros ecosistemas colindantes en busca de mejores condiciones en el futuro (Golicher et al., 2012; Peterson et al., 2002; Prieto-Torres et al., 2016, 2020). De forma similar, algunos estudios proyectan escenarios de reducción drástica de más del 60% del hábitat para algunas especies de coníferas en México (Gómez-Pineda et al., 2020), incluyendo la pérdida de hasta el 96 % del hábitat del bosque de niebla (Rehfeldt et al., 2012) y la total desaparición del hábitat climático propicio para la *Picea mexicana* (conífera endémica y amenazada) dentro del territorio nacional (Ledig et al., 2010; Mendoza-Maya et al., 2022).

Aunque estos estudios muestran entonces un repertorio amplio de respuestas, hasta la fecha no se ha cuantificado el grado de incertidumbre asociado a la selección de los datos de entrada, métodos, modelos de clima y escenarios de emisiones. De igual forma, no se ha implementado un protocolo estandarizado de análisis de los datos de las especies con el fin de hacer reproducibles estos estudios (Zurell et al., 2020), esto con el fin de actualizar estos estudios con los escenarios más recientes del CMIP6. Consideramos que un consenso sobre la estrategia de modelación, al menos con modelos de nicho ecológico clásicos, es indispensable para determinar si las respuestas proyectadas bajo diferentes escenarios corresponden a características intrínsecas de cada grupo taxonómico y no son producto de artefactos debido al uso de diferentes aproximaciones metodológicas o sesgos en los datos utilizados.

En los últimos años se ha cuestionado la utilidad de los modelos de nicho ecológico para hacer proyecciones futuras de cambios en la distribución geográfica de las especies debido a las violaciones en los supuestos. Por ejemplo, el supuesto de que las especies están en equilibrio con el clima (Araújo & Pearson, 2005) es bastante problemático, esto es debido a que muchas especies presentan ya una respuesta de desfase con el clima actual o rezago climático (también llamado deuda climática) (Bertrand et al., 2011, 2016; Devictor et al., 2012; Gaüzère et al., 2018). Sin embargo, la evidencia de estas respuestas rezagadas viene principalmente de estudios con especies de zonas templadas y hay pocos esfuerzos de investigación para

establecer si especies y comunidades bióticas en regiones tropicales y subtropicales muestran el mismo tipo de respuesta. Nuestra revisión de la literatura muestra un gran vacío de información acerca de cómo las especies de plantas y animales han respondido a incrementos en temperatura y cambios en patrones de precipitación que ya se han detectado en el país. Por otro lado, los modelos de nicho ecológico correlativos usados en la mayoría de estudios revisados no incorporan procesos ecológicos y evolutivos que son importantes para entender cómo las especies se podrían mover en la geografía y adaptarse a condiciones cambiantes. Una serie de modelos que incorporan estos procesos se han desarrollado en los últimos años (Cotto et al., 2017; Diniz-Filho et al., 2019; Fordham et al., 2018; Lyons & Kozak, 2020; Miller et al., 2020; Nadeau & Urban, 2019; Norberg et al., 2012) pero hasta la fecha no ha habido esfuerzos de integración y adaptación de estos enfoques para evaluar impactos de cambio climático en las especies de fauna y flora mexicana. De igual manera, varios desarrollos recientes dentro del campo de la modelación macroecológica (Hagen, 2022; Hagen et al., 2021; Mokany et al., 2012, 2022; Rangel et al., 2018) nos podrían permitir estudiar los impactos del cambio climático en términos de estructura y composición de comunidades biológicas de forma más directa y transparente.

Finalmente, una limitación grande de los estudios de modelado de nicho ecológico y proyecciones futuras es que no han incorporado la incertidumbre asociada a los modelos de clima y escenarios de emisiones de forma apropiada (Gay & Estrada, 2010; Knutti & Sedláček, 2013). La mayoría de estos estudios solo han usado un conjunto pequeño de modelos de clima y algunos escenarios de emisiones (e.g., RCP4.5 y RCP8.5). En este sentido, los estudios no han realizado esfuerzos de manera integral para explorar diferentes escenarios de mitigación global y regional y por lo tanto no tenemos información adecuada de cómo ciertas políticas climáticas internacionales podrían afectar la biodiversidad en México. Consideramos que esta limitación impide que tomadores de decisión puedan usar estos estudios para la generación de políticas públicas encaminadas a proteger la biodiversidad frente a los impactos del cambio climático.

### **Perspectivas a futuro**

1. Desarrollar investigaciones interdisciplinarias que busquen integrar información sobre dinámicas de comunidades biológicas del pasado con proyecciones futuras bajo diferentes escenarios de cambio climático.
2. Desarrollar investigaciones incorporando procesos ecológicos (como la velocidad de migración por medios naturales) y evolutivos en la modelación ecológica de las especies.
3. Desarrollar e implementar planes de manejo para el mejoramiento del reservorio genético de especies forestales frente al impacto del cambio climático.
4. Desarrollar e implementar planes de manejo para la restauración y mejora de la conectividad de ecosistemas terrestres, costeros y marinos.
5. Establecer programas de monitoreo de fauna y flora a mediano y largo plazo.
6. Desarrollar investigaciones adoptando enfoques probabilísticos y de atribución en la modelación ecológica que incluyan adecuadamente la incertidumbre de los modelos de clima.
7. Desarrollo de herramientas computacionales para visualización de impactos de cambio climático en biodiversidad orientadas a tomadores de decisión.

## Referencias

- Alvarez-Filip, L., González-Barrios, F. J., Pérez-Cervantes, E., Molina-Hernández, A., & Estrada-Saldívar, N. (2022). Stony coral tissue loss disease decimated Caribbean coral populations and reshaped reef functionality. *Communications Biology*, *5*(1), 1–10.
- Antão, L. H., Bates, A. E., Blowes, S. A., Waldo, C., Supp, S. R., Magurran, A. E., Dornelas, M., & Schipper, A. M. (2020). Temperature-related biodiversity change across temperate marine and terrestrial systems. *Nature Ecology & Evolution*, 1–7.
- Aragón-Moreno, A. A., Islebe, G. A., Roy, P. D., Torrescano-Valle, N., & Mueller, A. D. (2018). Climate forcings on vegetation of the southeastern Yucatán Peninsula (Mexico) during the middle to late Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *495*, 214–226.
- Araújo, M. B., & Pearson, R. G. (2005). Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography*, *28*(5), 693–695.
- Ballesteros-Barrera, C., Tapia-Pérez, O., Zárate-Hernández, R., Leyte-Manrique, A., Martínez-Bernal, A., Vargas-Miranda, B., Martínez-Coronel, M., & Ortiz-Burgos, S. (2022). The Potential Effect of Climate Change on the Distribution of Endemic Anurans from Mexico's Tropical Dry Forest. *Diversity*, *14*(8), 650.
- Bertrand, R., Lenoir, J., Piedallu, C., Dillon, G. R., De Ruffray, P., Vidal, C., Pierrat, J. C., & Gégout, J. C. (2011). Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests. *Nature*, *479*(7374), 517–520. <https://doi.org/10.1038/nature10548>
- Bertrand, R., Riofrío-Dillon, G., Lenoir, J., Drapier, J., De Ruffray, P., Gégout, J. C., & Loreau, M. (2016). Ecological constraints increase the climatic debt in forests. *Nature Communications*, *7*. <https://doi.org/10.1038/ncomms12643>
- Bocanegra-Ramírez, D. M., Li, H.-C., Vázquez, G. D., Israde-Alcántara, I., & Bischoff, J. L. (2019). Holocene climate change and sea level oscillations in the pacific coast of Mexico. *Quaternary International*, *528*, 100–108.
- Caballero, M., Lozano-García, S., Ortega-Guerrero, B., & Correa-Metrio, A. (2019). Quantitative estimates of orbital and millennial scale climatic variability in central Mexico during the last ~40,000 years. *Quaternary Science Reviews*, *205*, 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.12.002>
- Caballero, M., Lozano-García, S., Vázquez-Selem, L., & Ortega, B. (2010). Evidencias de cambio climático y ambiental en registros glaciales y en cuencas lacustres del centro de México durante el último máximo glacial. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, *62*(3), 359–377.
- CBD, S. of the C. on B. (2009). *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change*. Montreal, Technical Series.
- Contreras-Silva, A. I., Tilstra, A., Migani, V., Thiel, A., Pérez-Cervantes, E., Estrada-Saldívar, N., Elias-Ilosvay, X., Mott, C., Alvarez-Filip, L., & Wild, C. (2020). A meta-analysis to assess long-term spatiotemporal changes of benthic coral and macroalgae cover in the Mexican Caribbean. *Scientific Reports*, *10*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65801-8>

- Correa-Metrio, A., Bush, M. B., Hodell, D. A., Brenner, M., Escobar, J., & Guilderson, T. (2012). The influence of abrupt climate change on the ice-age vegetation of the Central American lowlands. *Journal of Biogeography*, 39(3), 497–509. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02618.x>
- Correa-Metrio, A., Bush, M., Lozano-García, S., & Sosa-Nájera, S. (2013). Millennial-scale temperature change velocity in the continental northern neotropics. *PLoS ONE*, 8(12), 1–11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081958>
- Cotto, O., Wessely, J., Georges, D., Klöner, G., Schmid, M., Dullinger, S., Thuiller, W., & Guillaume, F. (2017). A dynamic eco-evolutionary model predicts slow response of alpine plants to climate warming. *Nature Communications*, 8(May). <https://doi.org/10.1038/ncomms15399>
- Cruzado-Vargas, A.L.; Blanco-García, A.; Lindig-Cisneros, R.; Gómez-Romero, M.; Lopez-Toledo, L.; de la Barrera, E.; & Sáenz-Romero, C. 2021. Reciprocal common garden altitudinal transplants reveal potential negative impacts of climate change on *Abies religiosa* populations in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve overwintering sites. *Forests*, 12(1):69-86. <https://doi.org/10.3390/f12010069>
- Cuervo-Robayo, A. P., Ureta, C., Gómez-Albores, M. A., Meneses-Mosquera, A. K., Téllez-Valdés, O., & Martínez-Meyer, E. (2020). One hundred years of climate change in Mexico. *Plos one*, 15(7), e0209808. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209808>
- Devictor, V., Van Swaay, C., Brereton, T., Brotons, L., Chamberlain, D., Heliölä, J., Herrando, S., Julliard, R., Kuussaari, M., Lindström, Å., Reif, J., Roy, D. B., Schweiger, O., Settele, J., Stefanescu, C., Van Strien, A., Van Turnhout, C., Vermouzek, Z., WallisDeVries, M., ... Jiguet, F. (2012). Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. *Nature Climate Change*, 2(2), 121–124. <https://doi.org/10.1038/nclimate1347>
- Diniz-Filho, J. A. F., Souza, K. S., Bini, L. M., Loyola, R., Dobrovolski, R., Rodrigues, J. F. M., Lima-Ribeiro, S., Terribile, L. C., Rangel, T. F., Bione, I., Freitas, R., Machado, I. F., Rocha, T., Lorini, M. L., Vale, M. M., Navas, C. A., Maciel, N. M., Villalobos, F., Olalla-Tarraga, M. A., & Gouveia, S. (2019). A macroecological approach to evolutionary rescue and adaptation to climate change. *Ecography*, 42(6), 1124–1141. <https://doi.org/10.1111/ecog.04264>
- Eakin, C. M., Devotta, D., Heron, S. F., Connolly, S., Liu, G., Geiger, E., Cour, J. D. L., Gomez, A., Skirving, W., Baird, A. H., Cantin, N., Couch, C., Donner, S., Gilmour, J., Gonzalez-Rivero, M., Gudka, M., Harrison, H., Hodgson, G., Hoegh-Guldberg, O., ... Manzello, D. (2022). *The 2014-17 Global Coral Bleaching Event: The Most Severe and Widespread Coral Reef Destruction*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1555992/v1>
- Eakin, C. M., Morgan, J. A., Heron, S. F., Smith, T. B., Liu, G., Alvarez-Filip, L., Baca, B., Bartels, E., Bastidas, C., & Bouchon, C. (2010). Caribbean corals in crisis: Record thermal stress, bleaching, and mortality in 2005. *PloS One*, 5(11), e13969.
- Estrada-Saldívar, N., Quiroga-García, B. A., Pérez-Cervantes, E., Rivera-Garibay, O. O., & Alvarez-Filip, L. (2021). Effects of the Stony Coral Tissue Loss Disease Outbreak on Coral Communities and the Benthic Composition of Cozumel Reefs. *Frontiers in Marine Science*, 8(March), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.632777>
- Feria Arroyo, T. P., Sánchez-Rojas, G., Ortiz-Pulido, R., Bravo-Cadena, J., Calixto Pérez, E., Dale, J. M., Duberstein, J. N., Illoldi-Rangel, P., Lara, C., & Valencia-Herverth, J. (2013). Estudio

- del cambio climático y su efecto en las aves en México: Enfoques actuales y perspectivas futuras. *Huitzil*, 14(1), 47–55.
- Fordham, D. A., Bertelsmeier, C., Brook, B. W., Early, R., Neto, D., Brown, S. C., Ollier, S., & Araújo, M. B. (2018). How complex should models be? Comparing correlative and mechanistic range dynamics models. *Global Change Biology*, 24(3), 1357–1370.
- Gaüzère, P., Iversen, L. L., Barnagaud, J. Y., Svenning, J. C., & Blonder, B. (2018). Empirical predictability of community responses to climate change. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 6(NOV), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00186>
- Gay, C., & Estrada, F. (2010). Objective probabilities about future climate are a matter of opinion. *Climatic Change*, 99(1), 27–46.
- Glynn, P. W., & Ault, J. S. (2000). A biogeographic analysis and review of the far eastern Pacific coral reef region. *Coral Reefs*, 19(1), 1–23.
- Golicher, D. J., Cayuela, L., & Newton, A. C. (2012). Effects of climate change on the potential species richness of Mesoamerican forests. *Biotropica*, 44(3), 284–293.
- Gómez-Pineda, E., Sáenz-Romero, C., Ortega-Rodríguez, J. M., Blanco-García, A., Madrigal-Sánchez, X., Lindig-Cisneros, R., Lopez-Toledo, L., Pedraza-Santos, M. E., & Rehfeldt, G. E. (2020). Suitable climatic habitat changes for Mexican conifers along altitudinal gradients under climatic change scenarios. *Ecological Applications*, 30(2), e02041. <https://doi.org/10.1002/eap.2041>
- Guzmán-Aguilar, G., Carbajal-Navarro, A., Sáenz-Romero, C., Herrerías-Diego, Y., López-Toledo, L., & Blanco-García, A. (2020) *Abies religiosa* seedling limitations for passive restoration practices at the Monarch Butterfly Biosphere Reserve in Mexico. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8(115), 1-10. doi: 10.3389/fevo.2020.00115
- Hagen, O. (2022). Coupling eco-evolutionary mechanisms with deep-time environmental dynamics to understand biodiversity patterns. *Ecography*, 1–16. <https://doi.org/10.1111/ecog.06132>
- Hagen, O., Flück, B., Fopp, F., Cabral, J. S., Hartig, F., Pontarp, M., Rangel, T. F., & Pellissier, L. (2021). gen3sis: A general engine for eco-evolutionary simulations of the processes that shape Earth's biodiversity. *PLoS Biology*, 19(7), e3001340.
- Hammond, W.M., Williams, A.P., Abatzoglou, J.T., Adams, H.D., Klein, T., Rodríguez, R., Sáenz-Romero, C., Hartmann, H., Breshears, D.D., & Allen, C.D. 2022. Global field observations of tree die-off reveal hotter-drought fingerprint for Earth's forests. *Nature Communications*, 13, 176. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29289-2>
- Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, 7(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3>
- Jiménez-García, D., Li, X., Lira-Noriega, A., & Peterson, A. T. (2021). Upward shifts in elevational limits of forest and grassland for Mexican volcanoes over three decades. *Biotropica*, 53(3), 798–807. <https://doi.org/10.1111/btp.12942>
- Knutti, R., & Sedláček, J. (2013). Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change*, 3(4), 369–373. <https://doi.org/10.1038/nclimate1716>
- Ledig, F.T., Rehfeldt, G.E., Sáenz-Romero, C. & Flores-López, C. 2010. Projections of suitable habitat for rare species under global warming scenarios. *American Journal of Botany*

- 97(6):970-987. doi:10.3732/ajb.0900329
- Lenoir, J., Bertrand, R., Comte, L., Bourgeaud, L., Hattab, T., Murienne, J., & Grenouillet, G. (2020). Species better track climate warming in the oceans than on land. *Nature Ecology and Evolution*, 4(8), 1044–1059. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1198-2>
- Lozano-García, S., Caballero, M., Ortega, B., Rodríguez, A., & Sosa, S. (2007). Tracing the effects of the Little Ice Age in the tropical lowlands of eastern Mesoamerica. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(41), 16200–16203.
- Lozano-García, S., Torres-Rodríguez, E., Ortega, B., Vázquez, G., & Caballero, M. (2013). Ecosystem responses to climate and disturbances in western central Mexico during the late Pleistocene and Holocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 370, 184–195.
- Lyons, M. P., & Kozak, K. H. (2020). Vanishing islands in the sky? A comparison of correlation- and mechanism-based forecasts of range dynamics for montane salamanders under climate change. *Ecography*, 43(4), 481–493. <https://doi.org/10.1111/ecog.04282>
- Martínez-Meyer, E. & Velsaco, J. A. (2023). Contemporary climate impacts on Mexican fauna en: R.W. Jones, C.P. Ornelas-García, R. Pineda-López & F. Álvarez (eds). *Mexican Fauna in the Anthropocene*. Pp. 437-466. Springer, Cham, Suiza.
- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Guevara, R., Pérez-Maqueo, O., Garza-Lagler, M. C., & Howard, A. (2018). Towards a sustainable sun, sea, and sand tourism: The value of ocean view and proximity to the coast. *Sustainability*, 10(4), 1012.
- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Lithgow, D., Pérez-Maqueo, O., & Simonin, P. (2012). Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico. *Ecological Economics*, 82, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.07.018>
- Mendoza-González, G., Martínez, M. L., Rojas-Soto, O. R., Vázquez, G., & Gallego-Fernández, J. B. (2013). Ecological niche modeling of coastal dune plants and future potential distribution in response to climate change and sea level rise. *Global Change Biology*, 19(8), 2524–2535. <https://doi.org/10.1111/gcb.12236>
- Mendoza-Maya E, Gómez-Pineda E, Sáenz-Romero C, Hernández-Díaz JC, López-Sánchez CA, Vargas-Hernández JJ, Prieto-Ruiz JÁ, Wehenkel C. 2022. Assisted migration and the rare endemic plant species: the case of two endangered Mexican spruces. PeerJ 10:e13812. <https://peerj.com/articles/13812/>
- Miller, T. E. X., Angert, A. L., Brown, C. D., Lee-Yaw, J. A., Lewis, M., Lutscher, F., Marculis, N. G., Melbourne, B. A., Shaw, A. K., Szűcs, M., Tabares, O., Usui, T., Weiss-Lehman, C., & Williams, J. L. (2020). Eco-evolutionary dynamics of range expansion. *Ecology*, 101(10), 1–14. <https://doi.org/10.1002/ecy.3139>
- Mokany, K., Harwood, T. D., Williams, K. J., & Ferrier, S. (2012). Dynamic macroecology and the future for biodiversity. *Global Change Biology*, 18(10), 3149–3159. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02760.x>
- Mokany, K., Ware, C., Woolley, S. N. C., Ferrier, S., & Fitzpatrick, M. C. (2022). A working guide to harnessing generalized dissimilarity modelling for biodiversity analysis and conservation assessment. *Global Ecology and Biogeography*, August 2021, 1–20. <https://doi.org/10.1111/geb.13459>
- Morrone, J. J. (2020). *The Mexican Transition Zone. A Natural Biogeographic Laboratory to Study*

- Biotic Assembly*. Springer International Publishing.
- Muñiz-Castillo, A. I., McField, M., & Arias-González, J. E. (2022, May 27). *Additive influence of extreme events and local stressors on coral diversity in the Mesoamerican Reef during the last decade*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1689589/v1>
- Muñiz-Castillo, A. I., Rivera-Sosa, A., Chollett, I., Eakin, C. M., Andrade-Gómez, L., McField, M., & Arias-González, J. E. (2019). Three decades of heat stress exposure in Caribbean coral reefs: A new regional delineation to enhance conservation. *Scientific Reports*, *9*(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47307-0>
- Nadeau, C. P., & Urban, M. C. (2019). Eco-evolution on the edge during climate change. *Ecography*, *42*(7), 1280–1297. <https://doi.org/10.1111/ecog.04404>
- Norberg, J., Urban, M. C., Vellend, M., Klausmeier, C. A., & Loeuille, N. (2012). Eco-evolutionary responses of biodiversity to climate change. *Nature Climate Change*, *2*(10), 747–751. <https://doi.org/10.1038/nclimate1588>
- Ochoa-Ochoa, L. M., Rodríguez, P., Mora, F., Flores-villela, O., & Whittaker, R. J. (2012). Climate change and amphibian diversity patterns in Mexico. *Biological Conservation*, *150*(1), 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.03.010>
- Olivares-Casillas, G., Correa-Metrio, A., Zawisza, E., Wojewódka-Przybyl, M., Blaauw, M., & Romero, F. (2021). Environmental variability during the last three millennia in the rain shadows of central Mexico. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, *73*(1).
- Pacifici, M., Foden, W. B., Visconti, P., Watson, J. E. M., Butchart, S. H. M., Kovacs, K. M., Scheffers, B. R., Hole, D. G., Martin, T. G., Akçakaya, H. R., Corlett, R. T., Huntley, B., Bickford, D., Carr, J. A., Hoffmann, A. A., Midgley, G. F., Pearce-Kelly, P., Pearson, R. G., Williams, S. E., ... Rondinini, C. (2015). Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, *5*(3), 215–225. <https://doi.org/10.1038/nclimate2448>
- Pecl, G. T., Araújo, M. B., Bell, J. D., Blanchard, J., Bonebrake, T. C., Chen, I. C., Clark, T. D., Colwell, R. K., Danielsen, F., Evengård, B., Falconi, L., Ferrier, S., Frusher, S., Garcia, R. A., Griffis, R. B., Hobday, A. J., Janion-Scheepers, C., Jarzyna, M. A., Jennings, S., ... Williams, S. E. (2017). Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. *Science*, *355*(6332). <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>
- Peterson, A. T., Navarro-Sigüenza, A. G., Martínez-Meyer, E., Cuervo-Robayo, A. P., Berlanga, H., & Soberón, J. (2015). Twentieth century turnover of Mexican endemic avifaunas: Landscape change versus climate drivers. *Science Advances*, *1*(4), e1400071.
- Peterson, A. T., Ortega-Huerta, M. A., Bartley, J., Sánchez-Cordero, Buddemeier, R. W., & Stockwell, D. R. B. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature*, *416*, 626–629.
- Prieto-Torres, D. A., Lira-Noriega, A., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2020). Climate change promotes species loss and uneven modification of richness patterns in the avifauna associated to Neotropical seasonally dry forests. *Perspectives in Ecology and Conservation*, *18*(1), 19–30. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.01.002>
- Prieto-Torres, D. A., Navarro-Sigüenza, A. G., Santiago-Alarcon, D., & Rojas-Soto, O. R. (2016). Response of the endangered tropical dry forests to climate change and the role of Mexican Protected Areas for their conservation. *Global Change Biology*, *22*(1), 364–379. <https://doi.org/10.1111/gcb.13090>
- Prieto-Torres, D. A., Nori, J., Rojas-Soto, O. R., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2021). Challenges and



- opportunities in planning for the conservation of Neotropical seasonally dry forests into the future. *Biological Conservation*, 257(January), 109083. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109083>
- Prieto-Torres, D. A., Nuñez Rosas, L. E., Remolina Figueroa, D., & Arizmendi, M. del C. (2021). Most Mexican hummingbirds lose under climate and land-use change: Long-term conservation implications. *Perspectives in Ecology and Conservation*, September. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.07.001>
- Prieto-Torres, D. A., Rojas-Soto, O. R., Bonaccorso, E., Santiago-Alarcon, D., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2019). Distributional patterns of Neotropical seasonally dry forest birds: A biogeographical regionalization. *Cladistics*, 35(4), 446–460.
- Prieto-Torres, D. A., Sánchez-González, L. A., Ortiz-Ramírez, M. F., Ramírez-Albores, J. E., García-Trejo, E. A., & Navarro-Sigüenza, A. G. (2021). Climate warming affects spatio-temporal biodiversity patterns of a highly vulnerable Neotropical avifauna. *Climatic Change*, 165(3–4), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03091-3>
- Rangel, T. F., Edwards, N. R., Holden, P. B., Diniz-Filho, J. A. F., Gosling, W. D., Coelho, M. T. P., Cassemiro, F. A. S., Rahbek, C., & Colwell, R. K. (2018). Modeling the ecology and evolution of biodiversity: Biogeographical cradles, museums, and graves. *Science*, 361(6399). <https://doi.org/10.1126/science.aar5452>
- Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Sáenz-Romero, C., & Campbell, E. 2012. North American vegetation model for land-use planning in a changing climate: a solution to large classification problems. *Ecological Applications*, 22(1), 119-141. <https://doi.org/10.1890/11-0495.1>
- Reyes-Bonilla, H., Carriquiry, J., Leyte-Morales, G., & Cupul-Magaña, A. (2002). Effects of the El Niño-Southern Oscillation and the anti-El Niño event (1997–1999) on coral reefs of the western coast of México. *Coral Reefs*, 21(4), 368–372.
- Román-Palacios, C., & Wiens, J. J. (2020). Recent responses to climate change reveal the drivers of species extinction and survival. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(8), 4211–4217. <https://doi.org/10.1073/pnas.1913007117>
- Romero-Torres, M., Acosta, A., Palacio-Castro, A. M., Trembl, E. A., Zapata, F. A., Paz-García, D. A., & Porter, J. W. (2020). Coral reef resilience to thermal stress in the Eastern Tropical Pacific. *Global Change Biology*, 26(7), 3880–3890. <https://doi.org/10.1111/gcb.15126>
- Roy, P. D., Vera-Vera, G., Curtis, J. H., Sánchez-Zavala, J. L., Quiroz-Jiménez, J. D., & Muthu Sankar, G. (2019). Response of arid northeast Mexico to global climate changes during the late Pleistocene to the middle Holocene. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44(11), 2211–2222.
- Sáenz-Romero, C., Mendoza-Maya, E., Gómez-Pineda, E., Blanco-García, A., Endara-Agramont, A. R., Lindig-Cisneros, R., López-Upton, J., Trejo-Ramírez, O., Wehenkel, C., & Cibrián-Tovar, D. (2020). Recent evidence of Mexican temperate forest decline and the need for ex situ conservation, assisted migration, and translocation of species ensembles as adaptive management to face projected climatic change impacts in a megadiverse country. *Canadian Journal of Forest Research*, 50(9), 843–854.
- Scheffers, B. R., De Meester, L., Bridge, T. C. L., Hoffmann, A. A., Pandolfi, J. M., Corlett, R. T., Butchart, S. H. M., Pearce-Kelly, P., Kovacs, K. M., Dudgeon, D., Pacifici, M., Rondinini, C.,

- Foden, W. B., Martin, T. G., Mora, C., Bickford, D., & Watson, J. E. M. (2016). The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, *354*(6313). <https://doi.org/10.1126/science.aaf7671>
- Sinervo, B., Méndez-de-la-Cruz, F., Miles, D. B., Heulin, B., Bastiaans, E., Cruz, M. V. S., Lara-Resendiz, R., Martínez-Méndez, N., Calderón-Espinosa, M. L., Meza-Lázaro, R. N., Gadsden, H., Avila, L. J., Morando, M., De La Riva, I. J., Sepúlveda, P. V., Rocha, C. F. D., Ibarquengoytia, N., Puntriano, C. A., Massot, M., ... Sites, J. W. (2010). Erosion of lizard diversity by climate change and altered thermal niches. *Science*, *328*(5980), 894–899. <https://doi.org/10.1126/science.1184695>
- Trejo, I., Martínez-Meyer, E., Calixto-Pérez, E., Sánchez-Colón, S., Vázquez De La Torre, R., & Villers-Ruiz, L. (2011). Analysis of the effects of climate change on plant communities and mammals in México. *Atmosfera*, *24*(1), 1–14.
- Urban, M. C. (2015). Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, *348*(6234), 571–573. <https://doi.org/10.1126/science.aaa4984>
- Vázquez-Molina, Y., Correa-Metrio, A., Zawisza, E., Franco-Gaviria, J. F., Pérez, L., Romero, F., Prado, B., Charqueño-Célis, F., & Esperón-Rodríguez, M. (2016). Decoupled lake history and regional moisture availability in the middle elevations of tropical Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, *33*(3), 355–364.
- Wiens, J. J. (2016). Climate-related local extinctions are already widespread among plant and animal species. *PLoS Biology*, *14*(12), 1–18.
- Wogau, K. H., Hoelzmann, P., Arz, H. W., & Böhnelt, H. N. (2022). Paleoenvironmental conditions during the Medieval Climatic Anomaly, the Little Ice Age and social impacts in the Oriental Mesoamerican region. *Quaternary Science Reviews*, *289*, 107616.
- Zurell, D., Franklin, J., König, C., Bouchet, P. J., Dormann, C. F., Elith, J., Fandos, G., Feng, X., Guillera-Arroita, G., Guisan, A., Lahoz-Monfort, J. J., Leitão, P. J., Park, D. S., Peterson, A. T., Rapacciuolo, G., Schmatz, D. R., Schröder, B., Serra-Diaz, J. M., Thuiller, W., ... Merow, C. (2020). A standard protocol for reporting species distribution models. *Ecography*, *43*(9), 1261–1277. <https://doi.org/10.1111/ecog.04960>