



CEC  
CCA  
CCE

# Estado del conocimiento sobre conservación de las especies polinizadoras en América del Norte

Prioridades compartidas para la región



Citar como:

CCA (2024), *Estado del conocimiento sobre conservación de las especies polinizadoras en América del Norte: prioridades compartidas para la región*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, 62 pp.

El presente informe fue elaborado por un equipo de consultoras independientes por encargo del Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA). La información que contiene es responsabilidad de las autoras y no necesariamente refleja los puntos de vista de la CCA o los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México. Este documento no está concebido para presentarse en una publicación arbitrada o con revisión de pares, sino que se preparó con el objetivo único de contribuir a la colaboración en materia de conservación de las especies polinizadoras en América del Norte. Si bien se ha revisado y editado de manera exhaustiva, podrían haberse omitido involuntariamente algunas citas o referencias.

Se permite la reproducción —total o parcial— de este documento sin previa autorización, siempre y cuando se haga con absoluta precisión, su uso tenga fines educativos y no lucrativos, y se cite debidamente la fuente, con el correspondiente crédito a la Comisión para la Cooperación Ambiental. La CCA apreciará que se le envíe una copia de toda publicación o material que utilice este trabajo como fuente.

A menos que se indique lo contrario, el presente documento está protegido mediante licencia de tipo “Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada”, de Creative Commons.



© Comisión para la Cooperación Ambiental, 2024

ISBN: 978-2-89700-325-8 (versión electrónica)

Available in English – ISBN: 978-2-89700-323-4 (electronic version)

Disponible en français – ISBN: 978-2-89700-324-1 (version électronique)

Depósito legal: Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2024

Depósito legal: Library and Archives Canada, 2024

Foto de portada: Abeja sudorífera bicolor (*Agapostemon virescens*), Wirestock

### Detalles de la publicación

*Categoría del documento:* publicación de proyecto

*Fecha de publicación:* mayo de 2024

*Idioma original:* inglés

*Procedimientos de revisión y aseguramiento de calidad:*

Revisión final de las Partes: octubre de 2023

QA378

*Proyecto:* Plan Operativo 2019-2020 / Fortalecimiento de la conservación regional de las especies polinizadoras para asegurar sus beneficios en el ámbito local

Si desea más información sobre ésta y otras publicaciones de la CCA, diríjase a:

### Comisión para la Cooperación Ambiental

1001 Robert-Bourassa Boulevard, suite 1620

Montreal, Quebec, Canadá, H3B 4L4

Tel.: 514.350.4300; fax: 438.701.1434

info@cec.org / www.cec.org

# Índice

<b>Siglas, acrónimos y abreviaturas .....</b>	<b>iii</b>
<b>Sinopsis.....</b>	<b>iv</b>
<b>Resumen ejecutivo .....</b>	<b>iv</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>viii</b>
<b>1 Aspectos generales .....</b>	<b>1</b>
1.1 Mensajes a destacar.....	2
<b>2 Polinizadores en América del Norte: situación y tendencias poblacionales .....</b>	<b>2</b>
2.1 Diversidad de los polinizadores .....	3
2.2 Diversidad de los polinizadores por ecorregión y hábitat .....	6
2.3 Especies sujetas a manejo e introducidas.....	8
2.4 Tendencias poblacionales de los polinizadores .....	10
2.5 Resumen y lagunas en el conocimiento.....	14
2.6 Mensajes a destacar.....	15
<b>3 Factores de cambio.....</b>	<b>16</b>
3.1 Pérdida y fragmentación del hábitat y uso del suelo.....	17
3.2 Especies introducidas.....	19
3.3 Contaminación, plaguicidas y enfermedades .....	20
3.4 Cambio climático e incendios .....	22
3.5 Factores adicionales.....	23
3.6 Resumen y lagunas en el conocimiento.....	24
3.7 Mensajes a destacar.....	25
<b>4 Polinizadores: servicios ambientales y dimensiones humanas .....</b>	<b>26</b>
4.1 Servicios ambientales.....	26
4.2 Ciencias sociales y dimensiones humanas en la conservación: perspectivas de América del Norte .....	30
4.3 Resumen y lagunas en el conocimiento.....	34
4.4 Mensajes a destacar.....	34
<b>5 Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>35</b>
5.1 Prioridades en materia de colaboración en América del Norte .....	36
5.2 Recomendaciones para incorporar las dimensiones humanas a las tareas de conservación de los polinizadores .....	38
5.3 Mensajes a destacar.....	40

5.4 Consideraciones finales.....	41
<b>Apéndice 1. Métodos de evaluación cuantitativa.....</b>	<b>42</b>
<b>Apéndice 2. Registros del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad para órdenes de insectos probablemente polinizadores en América del Norte .....</b>	<b>45</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>47</b>

## Lista de cuadros

<b>Cuadro 1. Polinizadores vertebrados identificados como especies de preocupación en la Lista Roja de la UICN.....</b>	<b>11</b>
<b>Cuadro 2. Registros del GBIF para órdenes de insectos presuntamente polinizadores en América del Norte .....</b>	<b>45</b>

## Lista de gráficas

<b>Gráfica 1. Causas identificadas de preocupación respecto de especies polinizadoras invertebradas .....</b>	<b>17</b>
---	-----------

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental
GBIF	Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (del inglés: <i>Global Biodiversity Information Facility</i> )
IPBES	Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas ( <i>Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services</i> )
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

## Sinopsis

Consciente de la vital importancia de las especies polinizadoras para la región de América del Norte y de la disminución observada en sus poblaciones en todo el mundo, el Consejo de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) —integrado por las máximas autoridades ambientales de Canadá, Estados Unidos y México— aprobó una serie de actividades en materia de conservación de los polinizadores en el marco del proyecto *Fortalecimiento de la conservación regional de las especies polinizadoras para asegurar sus beneficios en el ámbito local*, del Plan Operativo 2019-2020. Como parte de este proyecto, el Secretariado de la CCA encomendó la elaboración de un estudio sobre el estado que guarda el conocimiento en torno a la conservación de los polinizadores a escala subcontinental, con el fin de guiar y promover actividades de colaboración en favor de su preservación en toda la región. Por otra parte, la Comisión organizó dos talleres participativos con representantes gubernamentales y actores e interesados de los tres países, con objeto de detectar lagunas en el conocimiento y definir áreas prioritarias para el trabajo conjunto, al tiempo de poner especial énfasis en los numerosos servicios ambientales y beneficios socioecológicos que proporcionan los polinizadores, tomando en consideración elementos relacionados con las dimensiones humanas.

Además de presentar los hallazgos en torno al estado actual del conocimiento sobre conservación de los polinizadores en América del Norte y los resultados de los talleres e intercambios informales sostenidos, el informe contiene un breve panorama general (apartado 1), seguido de un resumen de lo que hoy día se sabe en cuanto a diversidad de especies polinizadoras, tendencias poblacionales y factores de cambio (apartados 2 y 3), e incluye las conclusiones detalladas derivadas de una evaluación cuantitativa de registros de observación del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés) (véanse el recuadro 1 y los apéndices). Asimismo, se destacan los servicios ambientales que prestan los polinizadores y se explora de qué forma las ciencias sociales y la consideración de dimensiones humanas pueden contribuir a la conservación de estas especies en la región (apartado 4). En cada uno de los apartados se identifican posibles lagunas de conocimiento y se ofrecen mensajes clave en un lenguaje sencillo. Por último, el informe describe las acciones de conservación prioritarias que se beneficiarían de una mayor colaboración regional y ofrece recomendaciones sobre la integración de consideraciones relativas a la dimensión humana en las tareas para preservar a los polinizadores (apartado 5).

## Resumen ejecutivo

Los polinizadores son cruciales para el buen funcionamiento de los ecosistemas naturales, el bienestar humano y la seguridad alimentaria. Diversas especies nativas de abejas, mariposas, escarabajos, hormigas y moscas, junto con aquellas que también polinizan pero que no son insectos, como aves y murciélagos, contribuyen todas en forma determinante a la polinización de cultivos. Sin embargo, el número de polinizadores ha disminuido a escala mundial debido a factores muy diversos, entre los que destacan la pérdida y degradación del hábitat, la presencia de patógenos y especies invasoras, las prácticas agrícolas intensivas, un uso generalizado de compuestos agroquímicos —entre los que se cuentan los plaguicidas— y los efectos del cambio climático (IPBES, 2016; Wagner *et al.*, 2021). Por ello, resulta apremiante emprender acciones de conservación urgentes y propiciar la participación multisectorial ante esta rápida disminución poblacional observada.

Tomando como base más de una década de apoyo y fomento a la colaboración trilateral en favor de la conservación de la mariposa monarca en América del Norte, el Consejo de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) respaldó la adopción de medidas estratégicas orientadas a impulsar la preservación de los polinizadores en el subcontinente, en el marco del proyecto *Fortalecimiento de la conservación regional de las especies polinizadoras para asegurar sus beneficios en el ámbito local*, del Plan Operativo 2019-2020. Con este propósito, el Secretariado de la Comisión encomendó la realización de un diagnóstico del estado actual del conocimiento relativo a la conservación de las especies polinizadoras en América del Norte y la organización de dos talleres participativos con especialistas de Canadá, Estados Unidos y México. El presente documento, titulado *Estado del conocimiento sobre la conservación de las especies polinizadoras en América del Norte: prioridades compartidas para la región*, es la culminación de dicho trabajo.

El apartado 2 del informe ofrece una visión general de la situación que guardan los polinizadores en América del Norte, en términos de diversidad de especies; distribución del hábitat; especies sujetas a manejo e introducidas frente a especies nativas, y tendencias poblacionales en general.

Las autoras del estudio constataron que existe una rica diversidad de especies de polinizadores en todo el subcontinente. El alcance tal diversidad y sus tendencias poblacionales todavía se desconocen, aunque algunos órdenes, familias y géneros están mejor documentados que otros. Si bien la mayoría de los polinizadores presentes en América del Norte son insectos —desde abejas, avispas y mariposas hasta moscas y escarabajos—, también deben tenerse en cuenta las aves (por ejemplo, colibríes) y murciélagos polinizadores, aunque estos últimos sólo se encuentran en Estados Unidos y México.

La información de referencia sobre las poblaciones nativas de polinizadores de América del Norte es, en términos generales, bastante escasa (NRC, 2007) y la diversidad de polinizadores silvestres sólo se conoce de forma parcial. Como parte de la investigación llevada a cabo para el estudio de diagnóstico, las autoras integraron una base de datos de géneros de supuestos polinizadores, a partir de una revisión de la literatura publicada en la materia, y luego consultaron los registros de observación de tales géneros en el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés) (obténganse más detalles en el recuadro 1 y los apéndices del informe). En dicha base de datos se han identificado más de 24,000 especies de insectos polinizadores pertenecientes a 2,829 géneros distintos en Canadá, Estados Unidos y México. De estos géneros de insectos, 2,592 especies se registraron en Estados Unidos; 1,645, en Canadá, y 1,082, en México. El análisis de las autoras también reveló que el estado de conservación que guardan 1,159 de estas especies es de preocupación, tal y como se recoge en fuentes internacionales (para 59 especies), nacionales (para 35 especies) o estatales o provinciales (para 1,065 especies). Entre los vertebrados que suscitan preocupación figuran cuatro murciélagos y siete colibríes, todos ellos clasificados por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) como especies “casi amenazadas”, “vulnerables”, “en peligro” o “en peligro crítico de extinción”.

La literatura publicada en la materia pone aún mayor énfasis en la variabilidad de las poblaciones de polinizadores en América del Norte. Por ejemplo, sólo en Estados Unidos se conocen 4,000 especies de abejas nativas (Kopec y Burd, 2017; Moisset y Buchmann, 2011), mientras que en Canadá se han documentado más de 900 (Agriculture and AgriFood Canada, 2014). Por cuanto a México, dadas las lagunas en el conocimiento y el nivel actual de los muestreos, no se conoce con precisión la diversidad de especies de abejas nativas, aunque las estimaciones apuntan a más de 1,800 (Freitas *et al.*, 2009).

Por otro lado, un número reducido de especies de polinizadores son objeto de un manejo activo; es decir, se trata de especies semidomesticadas, producidas en grandes cantidades, y compradas y vendidas con fines comerciales (NRC, 2007), que en su mayoría corresponden a especies

introducidas o exóticas, aunque en algunos casos son nativas. El uso de polinizadores sujetos a manejo refleja la importancia de los servicios ambientales que prestan y también demuestra que las comunidades agrícolas invierten considerables recursos en los servicios de polinización.

En cuanto al hábitat de los polinizadores, la evaluación efectuada por las autoras pone de manifiesto que en las quince regiones ecológicas (ecorregiones terrestres de nivel I) que componen el territorio de América del Norte (CCA, 1997) hay presencia de especies polinizadoras. En algunas ecorregiones, como los bosques templados orientales —en el este de Canadá y Estados Unidos—, y las sierras templadas y selvas cálido-secas de México, se ha registrado (observaciones en bases de datos) un mayor número de estas especies. Sin embargo, es importante tener en cuenta que en numerosos ecosistemas y tipos de hábitat el estudio de los polinizadores ha sido escaso, y la capacidad de investigar y monitorear tanto la situación como las tendencias poblacionales se ve limitada por la falta general de datos, junto con sesgos de índole geográfica y taxonómica. Los polinizadores en áreas urbanas y agrícolas han recibido especial atención y han sido bastante estudiados, pero persisten lagunas de conocimiento en tipos de hábitat con menor densidad humana o remotos, al igual que para taxones crípticos y difíciles de detectar o identificar.

Aun cuando los datos sobre las tendencias poblacionales de los polinizadores en América del Norte de que se dispone son en general limitados, se han registrado descensos críticos en las poblaciones de algunas especies ampliamente estudiadas, lo mismo silvestres y nativas que las sujetas a manejo. La población de muchas especies de mariposas, polillas y abejas ha disminuido, aun cuando también es cierto que en unos pocos casos se han registrado aumentos. Cabe, asimismo, destacar la preocupación que suscitan algunas especies de colibríes.

En el apartado 3 se analizan los principales factores responsables del declive en las poblaciones de polinizadores a escala regional. La pérdida de hábitat, la fragmentación y el uso del suelo, la competencia causada por la introducción de especies, la contaminación, los plaguicidas, las enfermedades, el cambio climático y los incendios son todos factores que afectan a los polinizadores de todos los taxones, en todo tipo de hábitat, y pueden actuar de forma sinérgica entre sí (Brook *et al.*, 2008), lo que puede dar lugar a efectos no lineales o multiplicadores.

La pérdida de hábitat resultante del cambio en el uso del suelo es el factor de afectación más generalizado y de mayor impacto para los polinizadores en América del Norte. En Estados Unidos, las abejas no melíferas, las mariposas, los murciélagos y otros polinizadores objeto de manejo o silvestres se ven afectados por la pérdida y degradación del hábitat, y en el caso de algunas especies, existen pruebas contundentes de que dicha pérdida de hábitat ha provocado el declive de sus poblaciones. Con respecto a los invertebrados presentes en la región e incluidos en la Lista Roja de la UICN, las amenazas más comunes, además de la pérdida general de hábitat, son la deforestación y el cambio climático. Así pues, aunque todavía quedan incontables incógnitas por despejar, los desafíos de conservación comunes a los tres países incluyen atender o hacer frente a: la pérdida y degradación del hábitat provocada por la expansión de la agricultura, la urbanización y los corredores de transporte y de energía; la introducción de enfermedades, parásitos, depredadores y especies que compiten con los polinizadores nativos; la contaminación y el uso de plaguicidas, y el cambio climático.

El apartado 4 trata de la importancia de los servicios ambientales y beneficios ecológicos, agrícolas y otros que los polinizadores proporcionan. Se resumen también los resultados de un taller virtual celebrado en diciembre de 2020 en el que se exploró la incorporación de dimensiones humanas en la conservación de los polinizadores.



Los polinizadores benefician a las comunidades locales de América del Norte puesto que contribuyen a todos los servicios ambientales al sustentar las comunidades vegetales que subyacen al funcionamiento de los ecosistemas. Además de ser esenciales para la agricultura, los polinizadores favorecen las actividades recreativas, el ecoturismo y la subsistencia de plantas y comunidades vegetales de importancia cultural, lo que les confiere un papel fundamental en las economías de las poblaciones locales e incluso en sus identidades culturales. Lo que no se sabe a ciencia cierta es cómo las fluctuaciones en las comunidades de polinizadores y los cambios en la composición de especies presentes en los distintos hábitats afectarán los servicios y funciones ecosistémicos.

Reconociendo el papel esencial de los polinizadores, tanto para el funcionamiento de los ecosistemas como por los servicios que éstos ofrecen a las comunidades locales, la formulación de marcos y estrategias de conservación que atiendan la complejidad de los sistemas socioecológicos exige adoptar una perspectiva amplia que tenga en cuenta los diversos aspectos de los sistemas ecológicos, así como su intersección con las actividades humanas de interacción y aprovechamiento de los recursos. Entre las principales formas de incorporar la dimensión humana a la labor de conservación figuran la participación de científicos sociales; el establecimiento de relaciones con las poblaciones locales; el conocimiento de las distintas culturas presentes; la detección de factores e influencias menos obvios; el aprendizaje continuo, y la adaptación al cambio. El trabajo futuro en relación con las dimensiones humanas como elemento de una campaña o esfuerzo de conservación habrá de centrarse en los mensajes, el tipo de eventos y las estrategias que pueden introducirse en todo el subcontinente con vistas a fomentar la conservación de los polinizadores de forma cohesionada y eficaz.

A partir de las conclusiones emanadas del estudio realizado, así como de los resultados de los talleres participativos organizados por la CCA, en el apartado 5 del presente informe se destacan las siguientes áreas prioritarias de trabajo conjunto futuro entre los tres países:

- priorizar el monitoreo de las especies polinizadoras;
- establecer la conservación del hábitat de los polinizadores como tarea prioritaria;
- investigar los efectos de las prácticas agrícolas y del uso de plaguicidas;
- vigilar y controlar el uso de plaguicidas;
- estudiar las repercusiones del manejo de polinizadores;
- monitorear el comercio y las ventas de polinizadores sujetos a manejo;
- ampliar los procesos educativos y de sensibilización, así como las prácticas alternativas, y
- identificar y generar incentivos y recursos.

En aras de impulsar las acciones de conservación de los polinizadores y su eficacia, el informe destaca la necesidad de aumentar el conocimiento y generar mayor nivel de conciencia sobre los beneficios socioambientales de los polinizadores, para lo cual se deberá evaluar la eficacia de las estrategias de conservación de polinizadores; realizar ejercicios exhaustivos con el propósito de identificar grupos de interés, e integrar las ciencias sociales en la planificación estratégica de las medidas de conservación, todo ello teniendo en cuenta el marco del “bien común”.

Los polinizadores ofrecen una oportunidad única para la conservación en América del Norte, puesto que se pueden emprender intervenciones significativas a casi cualquier escala y en prácticamente cualquier localidad o comunidad. En el contexto de América del Norte, tal como se examina aquí, subsisten numerosas incógnitas en relación con los polinizadores, sus tendencias poblacionales y los factores de cambio. Sin embargo, no cabe duda alguna de que los pilares ecológicos, económicos y sociales de la vida y la sociedad en los tres países dependen en gran medida de la polinización y otros servicios ambientales, los cuales trascienden las fronteras políticas.

## Agradecimientos

Deseamos extender nuestro agradecimiento sincero a todas las personas que han aportado su valioso tiempo, conocimientos e ideas a la realización de este empeño, en particular a los participantes en los talleres que se enumeran a continuación, a los integrantes del comité directivo del proyecto de la CCA y a las consultoras a cargo de la realización del estudio y el informe resultante.

### Taller sobre conservación de especies polinizadoras en América del Norte, celebrado en febrero de 2020 en la ciudad de Oaxaca, México

De Canadá: Carolyn Joann Callaghan (Federación Canadiense de Vida Silvestre [*Canadian Wildlife Federation*]); Sheila Colla (Universidad de York); Melanie Jacqueline Dubois (ministerio de Agricultura y Agroindustria de Canadá [*Agriculture and Agri-Food Canada*]); Bryan Gilvesy (ALUS Canada); Jessica Linton (Natural Resource Solutions Inc.); Greg Mitchell, Ilona Naujokaitis-Lewis y Kenneth Tuinigna (ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá [*Environment and Climate Change Canada, ECCC*]); Lora Morandin (Alianza por los Polinizadores, Canadá [*Pollinator Partnership Canada*]); Nigel Raine (Universidad de Guelph), y Michel Saint-Germain (Insectario de Montreal “Espacio para la Vida” [*Insectarium, Espace pour la vie*]).

De Estados Unidos: Laurie Davies (Alianza por los Polinizadores [*Pollinator Partnership*]); Ryan Drum y Michael Gale (Servicio de Pesca y Vida Silvestre [*United States Fish and Wildlife Service, USFWS*]); Christina Grozinger (Universidad Estatal de Pensilvania); Jonathan Mawdsley (Asociación de Agencias de Pesca y Vida Silvestre [*Association of Fish and Wildlife Agencies*]); Christine Erika Taliga (Servicio de Conservación de los Recursos Naturales del Departamento de Agricultura [*United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, USDA-NRCS*]); Jennifer Thieme (Alianza Monarch Joint Venture); Mace Vaughan (Sociedad Xerces para la Conservación de Invertebrados [*Xerces Society for Invertebrate Conservation*]), y Jake Weltzin (Servicio de Estudios Geológicos [*United States Geological Survey, USGS*]).

De México: Amando Alvarado Álvarez (Mezcal Ixcateco); Francisco Botello (Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM); Wilfrido Cuevas Castro (Corporativo Ñuu Qahwa); Luisa Alejandra Domínguez (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC); Nilda Cecilia Elizondo (Programa Especial para un Sistema Agroalimentario Justo, Saludable y Sustentable); Alejandro Guevara (Universidad Iberoamericana); Israel Lorenzo y Sol Ortiz García (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, Sader); Ignacio José March Mifsut (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Conanp); María del Rocío Meneses Ramírez (Paraíso Colibrí); Mauricio Quesada (UNAM, campus Morelia, Michoacán); María Esther Quintero Rivero (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Conabio); Óscar Manuel Ramírez Flores (GIZ, Ciudad de México); Omar Eduardo Rocha Gutiérrez (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Semarnat), y Carmen Vasconcelos (MELAPIM, S.P. de R.L.).

### Taller virtual sobre integración de dimensiones humanas en la colaboración para la conservación de los polinizadores en América del Norte (diciembre de 2020)

De Canadá: Greg Mitchell e Ilona Naujokaitis-Lewis (ECCC); Vivian Nguyen (Universidad de Carleton), y Maureen G. Reed y James Robson (Universidad de Saskatchewan, cotitulares de la cátedra de investigación UNESCO sobre Diversidad Biocultural, Sostenibilidad, Reconciliación y Renovación).

De Estados Unidos: Ryan Drum, Katie Steiger-Meister y Natalie Sexton (USFWS).

De México: María Esther Quintero Rivero (Conabio), Ana Ortiz Monasterio (experta en derecho ambiental y desarrollo sustentable) y María Zorrilla (Universidad Iberoamericana).

Comité directivo del proyecto y equipo a cargo de la consultoría

A todo lo largo de la realización del trabajo de investigación, de inestimable valía fueron las aportaciones del comité directivo del proyecto de la CCA, conformado por: Greg Mitchell e Ilona Naujokaitis-Lewis (ECCC); Ryan Drum (USFWS); María Esther Quintero Rivero, Humberto Berlanga, Tania Urquiza, Patricia Koleff, Ana Isabel González y Sylvia Patricia Ruiz (Conabio); Talía Cruz, Eduardo Robelo González, José Eduardo Ponce, José Manuel Juan Diego Monzón, María Elena Rodarte, Rodrigo Chávez, Alfonso Prieto y Pablo Domínguez (Conanp); Jorge Alberto Duque, Omar Eduardo Rocha, Carlos Álvarez, Adelita Sanvicente Tello y Cecilia Elizondo (Semarnat), y Luisa Alejandra Domínguez e Isabel María Hernández (INECC).

*Responsables de la consultoría:* Clare E. Aslan (consultora principal); Taryn Baber, Sara Gabrielson, Hanna Ryder, Martha Sample, Sara Souther y Sasha Stortz (Iniciativa para la Conservación del Paisaje de la Universidad del Norte de Arizona), y Wynet Smith (consultora independiente) fueron las consultoras encargadas de los análisis y la redacción del material que integra la parte medular del presente documento. Los dos talleres impartidos en el marco del proyecto de la CCA fueron facilitados por las integrantes de la Iniciativa para la Conservación del Paisaje.

## 1 Aspectos generales

Los polinizadores son especies de fauna que ayudan a las plantas a producir frutos y semillas (Agricultural and Agri-Food Canada, 2014): aproximadamente 87 por ciento de 350,000 especies de flora —entre las que se incluye 75 por ciento de las especies de cultivo— depende de animales para el transporte de polen entre individuos vegetales (Ollerton, 2017). De ahí que los polinizadores sean cruciales para el funcionamiento de los ecosistemas naturales, el bienestar humano y la seguridad alimentaria. La polinización puede llevarse a cabo por diversos tipos de animales, desde insectos hasta mamíferos. La mayoría de los insectos polinizadores pertenecen a los órdenes *Lepidoptera*, *Coleoptera*, *Hymenoptera*, *Diptera* y *Hemiptera*, y comprenden desde las abejas melíferas y los abejorros hasta un gran número de abejas solitarias nativas, mariposas, moscas, hormigas, avispa y escarabajos (Aslan *et al.*, 2013; NRC, 2007). Entre los polinizadores vertebrados se encuentran aves (como los colibríes), murciélagos y otros mamíferos pequeños y medianos, y lagartijas (Olesen y Valido, 2003; Ollerton, 2017).

Las poblaciones de polinizadores han registrado un descenso en todo el mundo debido a una combinación de factores, entre los que destacan la pérdida y degradación del hábitat, la presencia de patógenos y especies invasoras, las prácticas agrícolas intensivas, un uso generalizado de compuestos agroquímicos —entre los que se cuentan los plaguicidas— y los efectos del cambio climático (IPBES, 2016; Wagner *et al.*, 2021). Este declive requiere la adopción de medidas de conservación urgentes y la participación comprometida de actores y grupos de interés de múltiples sectores.

“En el contexto de los vínculos ambientales, económicos y sociales entre Canadá, Estados Unidos y México, la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) facilita la cooperación efectiva y la participación ciudadana para conservar, proteger y mejorar el medio ambiente de América del Norte, en favor del desarrollo sustentable y en beneficio de las generaciones presentes y futuras” (CCA, 2023, p. 2). Los polinizadores representan una alta prioridad en términos de políticas ambientales en el subcontinente debido a su megadiversidad, su importancia para la seguridad alimentaria y su distribución natural y manejada de índole transfronteriza. En ese sentido, es preciso realizar esfuerzos de colaboración en los que participen los tres países a fin de identificar y atender los desafíos comunes a los que se enfrentan los polinizadores y orientar estrategias de conservación eficaces.

Durante más de una década, la CCA ha impulsado la cooperación trilateral para la conservación de la mariposa monarca en todo el subcontinente. A partir de este trabajo previo, el Consejo de la Comisión —integrado por las máximas autoridades ambientales de Canadá, Estados Unidos y México— aprobó una serie de actividades en materia de conservación de polinizadores en el marco del proyecto *Fortalecimiento de la conservación regional de las especies polinizadoras para asegurar sus beneficios en el ámbito local*, del Plan Operativo 2019-2020. La iniciativa contó con la supervisión de un comité directivo, conformado por científicos de alto nivel de los tres países, y comprendió dos talleres en los que participaron múltiples actores y representantes de diversos grupos de interés con el propósito de intercambiar ideas y contribuir a la toma de decisiones en torno a la conservación de las especies polinizadoras.

Como parte de este proyecto, el Secretariado de la CCA encomendó la elaboración de un estudio sobre el estado que guarda a escala subcontinental el conocimiento en torno a la conservación de los polinizadores, con el fin de guiar y promover actividades de colaboración en favor de su conservación en toda la región. Por otra parte, la Comisión organizó dos talleres participativos con representantes gubernamentales y actores e interesados de los tres países con objeto de detectar

lagunas en el conocimiento y definir áreas prioritarias para el trabajo conjunto, al tiempo de poner especial énfasis en los numerosos servicios ambientales y beneficios socioecológicos que proporcionan los polinizadores, tomando en consideración elementos relacionados con las dimensiones humanas.

El presente documento, titulado *Estado del conocimiento sobre la conservación de las especies polinizadoras en América del Norte: prioridades compartidas para la región*, es la culminación de dicho trabajo. El informe brinda una panorámica la situación que guardan los polinizadores en el subcontinente, a partir de los resultados de una evaluación cuantitativa de las observaciones de estos animales registradas en los tres países; contiene un resumen del conocimiento que se tiene acerca de las tendencias poblacionales, incluida una perspectiva general de los factores que motivan cambios en dichas tendencias, y distingue vacíos en el conocimiento. Asimismo, ofrece un resumen detallado de los servicios ambientales que prestan los polinizadores en toda la región y reflexiones sobre cómo las ciencias sociales pueden contribuir a apuntalar las tareas de conservación. Por último, detalla una serie de áreas prioritarias en las que han de impulsarse iniciativas conjuntas en favor de la conservación de los polinizadores en Canadá, Estados Unidos y México, junto con recomendaciones destinadas a integrar con mayor eficacia consideraciones de la dimensión humana en dicha labor.

## 1.1 Mensajes a destacar

- Amén de prestar valiosos servicios ambientales, las especies polinizadoras desempeñan un papel vital para el bienestar de los seres humanos y la seguridad alimentaria. Abejas nativas, mariposas, escarabajos, hormigas y moscas, junto con polinizadores distintos de los insectos, como aves y murciélagos, son valiosos agentes de polinización de cultivos que complementan e incluso sustituyen a las especies polinizadoras sujetas a manejo, como las abejas. Sin embargo, no sólo en América del Norte, sino en todo el mundo, existe una enorme preocupación por la disminución de las poblaciones de especies polinizadoras y se reconoce la necesidad de aprender más al respecto a efecto de emprender las acciones necesarias para evitar dicho declive.
- Desde hace años, la Comisión para la Cooperación Ambiental participa en las tareas de conservación de la mariposa monarca y ahora ha ampliado su atención hacia otros polinizadores. Canadá, Estados Unidos y México han colaborado en la elaboración de esta publicación.

## 2 Polinizadores en América del Norte: situación y tendencias poblacionales

Entre los estudios realizados sobre los polinizadores en América del Norte destaca el informe *Status of Pollinators in North America* [Situación de los polinizadores en América del Norte] (NRC, 2007), elaborado por el Consejo Nacional de Investigación (*National Research Council*, NRC) de las Academias Nacionales de Ciencia, Ingeniería y Medicina de Estados Unidos. En este documento se resumen el papel y la importancia de estas especies; su estado de conservación; las causas del declive de sus poblaciones; las consecuencias de dicho descenso para los servicios de polinización; las acciones de monitoreo en curso y necesarias, y algunas estrategias orientadas a impulsar la preservación tanto de las especies mismas como de los servicios de polinización en todo el subcontinente. La preocupación por la disminución observada en las poblaciones de polinizadores llevó a la creación en 2014 del Equipo de Tarea de Estadounidense para la Salud de las Especies Polinizadoras (*United States Pollinator Health Task Force*, PHTF), que un año después publicó un plan de acción nacional para la investigación

al respecto (*National Pollinator Research Action Plan*) (PHTF, 2015a) y la Estrategia Nacional para Promover la Salud de las Abejas Melíferas y Otros Polinizadores (*National Strategy to Promote the Health of Honey Bees and Other Pollinators*) (PHTF, 2015b). Ese mismo año, el Departamento de Agricultura y el Departamento del Interior de Estados Unidos publicaron una serie de directrices tituladas *Pollinator-Friendly Best Management Practices for Federal Lands* [Mejores prácticas de manejo para especies polinizadoras aplicables en tierras federales] (USDA y DOI, 2015). Por su parte, México publicó en 2021 su Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Polinizadores, documento que presenta una síntesis de los conocimientos e iniciativas en materia de polinizadores en el país; identifica lagunas en el conocimiento, y contiene un resumen de las políticas sobre especies polinizadoras y evaluaciones de los efectos de las abejas exóticas en México. En Canadá, el ministerio de Agricultura y Agroindustria (*Agriculture and Agri-Food Canada*) publicó en 2014 el informe titulado *Native Pollinators and Agriculture in Canada* [Los polinizadores nativos y la agricultura en Canadá], en el que se detallan los ciclos biológicos de algunos de los insectos polinizadores más conocidos, su papel en la agricultura y algunas de las mejores prácticas de manejo. El ministerio de Salud de Canadá (*Health Canada*) también ha elaborado diversas infografías sobre conservación de los polinizadores en las que se aborda la relación entre el uso de plaguicidas y las abejas, y se presentan mejores prácticas de manejo. Esta misma dependencia colabora con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) en el monitoreo y manejo de riesgos de los plaguicidas para los polinizadores. En la actualidad, distintos grupos de interés, encabezados por investigadores académicos, se encuentran elaborando una estrategia nacional canadiense en materia de polinizadores.

Con base en una investigación documental y en algunos aspectos destacados de los resultados de una evaluación de los registros de observación disponibles, este apartado ofrece una visión general de la situación que guardan los polinizadores en América del Norte (véanse el recuadro 1, para conocer una breve descripción de los métodos empleados, y el apéndice 1, para un análisis más detallado).

## 2.1 Diversidad de los polinizadores

En América del Norte, los polinizadores comprenden una gran diversidad de especies: nativas y alóctonas (no-nativas); silvestres y sujetas a manejo; de distribución limitada algunas, y otras (como la mariposa monarca o ciertas especies de murciélagos) que migran atravesando las fronteras nacionales del subcontinente. En su totalidad, la región alberga cifras notoriamente elevadas de varios grupos de polinizadores clave (por ejemplo, abejas solitarias, colibríes y hormigas). Sin embargo, la información de referencia sobre las poblaciones de especies polinizadoras nativas de América del Norte en su conjunto es bastante escasa (NRC, 2007) y la diversidad de polinizadores silvestres se conoce sólo parcialmente. Además, persisten lagunas de conocimiento derivadas de un muestreo insuficiente de regiones remotas y grupos taxonómicos crípticos. Dado que en líneas generales el conocimiento de la diversidad de insectos es limitado, con un gran número de especies aún por describir (NRC, 2007), las evaluaciones de la diversidad taxonómica de los polinizadores se limitan a las especies que se han examinado, junto con extrapolaciones basadas en la extensión del hábitat y la diversidad registrada entre las especies mejor estudiadas.

Como parte del trabajo de investigación realizado para el estudio de diagnóstico objeto del presente informe, las investigadoras de la Universidad del Norte de Arizona integraron una base de datos de géneros de supuestos polinizadores, a partir de una revisión de la literatura publicada en la materia, y luego consultaron los registros de observación de tales géneros en el Sistema Global de

Información sobre Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés), repositorio internacional de datos sobre la presencia de especies (obténganse más detalles en el recuadro 1 y el apéndice 1).

*Recuadro 1. Resumen de la evaluación cuantitativa*

Las investigadoras crearon una base de datos de géneros de supuestos polinizadores en América del Norte a partir de la bibliografía publicada en la materia y, a continuación, recopilaron registros de observación de dichos géneros a partir del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF). Para integrar su listado de géneros, recurrieron a información general disponible sobre la polinización en distintas partes de América del Norte y, utilizando la versión 3.6.2 del software R, un lenguaje de programación y entorno para computación estadística y representación gráfica (<https://cran.r-project.org/>), desarrollaron un código de extracción con el cual obtener, a partir de los registros biológicos del GBIF, datos correspondientes a géneros de polinizadores. Así, extrajeron datos sobre la distribución espacial, el número de observaciones, el horizonte temporal de observación y las especies pertenecientes a un género. Además, con el uso de datos georreferenciados, extrajeron información sobre las ecorregiones y los tipos de hábitats de interés a partir de los mapas de la CCA *Ecorregiones terrestres: nivel I* (CCA, 2021) y *Cobertura del suelo, 2015* (CCA, 2015), este último integrado con datos del Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte (NALCMS, por sus siglas en inglés) obtenidos por el sensor Landsat con una resolución espacial de 30 metros. Tales datos de localización permitieron examinar la presencia y distribución relativa de polinizadores, e identificar las ecorregiones y hábitats con una diversidad particularmente alta de estas especies.

Se utilizó un método de codificación similar para los polinizadores vertebrados, a partir de una lista de 228 especies de vertebrados nectarívoros conocidas en América del Norte tomada de Aslan *et al.* (2013), mismas que se consultaron en el sistema de búsqueda del GBIF. Con el código de extracción, las investigadoras obtuvieron el número, la frecuencia y el horizonte temporal de las observaciones, así como la distribución espacial, la ecorregión y el tipo de hábitat correspondiente a cada una de tales especies. Asimismo, el estado de conservación de todos los vertebrados listados se obtuvo de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), versión 3.

Por otro lado, aun cuando la Lista Roja de la UICN está mucho menos avanzada para los invertebrados que para los vertebrados, también se buscó en dicha lista información sobre el estado de conservación de los invertebrados incluidos en la base de datos integrada para efectos del presente estudio. Sin embargo, dado que las evaluaciones de la UICN realizadas a invertebrados son relativamente escasas, las investigadoras también recurrieron a evaluaciones de conservación a escalas nacional y estatal o provincial a fin de identificar otras especies de polinizadores cuya conservación está amenazada en América del Norte. Una vez integrada una lista más completa de especies polinizadoras amenazadas, aplicaron el código de extracción para obtener, a partir de los registros biológicos del GBIF, datos correspondientes al número y frecuencia de las observaciones registradas para cada especie de preocupación, al igual que su distribución espacial, ecorregión y tipo de hábitat.

En combinación, estos métodos permitieron generar o determinar el número registros por taxón y por área geográfica, y a partir de ello examinar la diversidad conocida de especies polinizadoras y su presencia, de acuerdo con su estado de conservación, en todo el subcontinente. Gracias a la codificación desarrollada para las búsquedas (código de extracción), las investigadoras lograron determinar qué ecorregiones y tipos de hábitat son los que registran una diversidad de polinizadores particularmente elevada, con concentraciones también altas de especies polinizadoras amenazadas. Es importante destacar que los métodos utilizados brindan una visión cuantitativa de la presencia de polinizadores basada en un inmenso conjunto de datos de registros fiables, reunidos con un riguroso control de calidad y que incluyen taxones que son raros o están ausentes en la literatura especializada con revisión de pares. En combinación con una revisión bibliográfica sobre las tendencias de las poblaciones de las especies polinizadoras, la metodología empleada aportó una perspectiva de la situación que guardan los polinizadores en América del Norte, al tiempo de sentar bases para analizar la relevancia e impacto que la actual disminución en sus

poblaciones tiene por cuanto a los servicios ambientales que prestan, la biodiversidad, la agricultura y los valores socioculturales.

Consúltense las notas metodológicas completas en el apéndice 1.

Fuente: "University of Northern Arizona Landscape Conservation Initiative" [Iniciativa para la Conservación del Paisaje de la Universidad del Norte de Arizona], 2021.

La base de datos integrada comprendió 2,839 géneros de insectos polinizadores para América del Norte: 1,353 géneros de *Diptera* (insectos con dos alas, incluidos moscas, mosquitos, zancudos y tábanos); 1,202 géneros de *Lepidoptera* (mariposas y polillas); 162 géneros de *Hymenoptera* (hormigas, abejas, abejorros, avispas, icneumonídeos, calcidoideos y moscas de sierra o sínfitos); 106 géneros de *Coleoptera* (escarabajos y gorgojos), y once géneros de *Hemiptera* (cigarras, chinches y áfidos o pulgones) (véase el cuadro del apéndice 2). El género más rico en especies fue el de las abejas *Andrena*, con 506 especies presentes en los tres países. De los 2,839 géneros de insectos identificados para el presente estudio, 2,592 se han registrado en Estados Unidos, 1,645 en Canadá y 1,082 en México.

Los registros extraídos del GBIF para estos géneros representan 1,807,491 observaciones independientes en los tres países y corresponden a 24,184 especies. Para Canadá se identificaron 7,860 especies de polinizadores, pertenecientes principalmente a dípteros (916 géneros), lepidópteros (618 géneros), coleópteros (55 géneros) e himenópteros (47 géneros). Entre los 916 géneros de dípteros identificados, la mayoría (161) son taquínidos (moscas), seguidos de quironómidos (insectos parecidos a mosquitos pero que no pican, a veces llamados "moscas de los lagos", con 82 géneros), sírfidos (moscas planeadoras, con 55 géneros) y clorópidos (moscas en general pequeñas que suelen encontrarse en prados y pastizales, con 41 géneros). Entre los lepidópteros, los *Noctuidae* (mariposas en su gran mayoría nocturnas, también conocidas como polillas o palomillas) son los que cuentan con más géneros (212).

Se extrajeron del GBIF registros correspondientes a 19,552 especies de polinizadores en Estados Unidos. Al igual que en el caso de Canadá, el mayor número de géneros (1,244) pertenece al orden *Diptera*, seguidos de 1,164 géneros de *Lepidoptera* y 101 de *Hymenoptera*. Entre los dípteros, hay 183 géneros de *Tachinidae* y 125 géneros de *Chironomidae*, en tanto que para los lepidópteros se obtuvieron registros de 358 géneros de *Noctuidae*, 230 de *Geometridae* (polillas geométridas) y 200 de *Crambidae* (familia de mariposas nocturnas de apariencia muy variada).

En lo referente a polinizadores en México, se extrajeron del GBIF registros para 5,314 especies. El análisis de los datos obtenidos revela 628 géneros de lepidópteros, 275 de dípteros y 129 de himenópteros. La familia *Noctuidae* del orden *Lepidoptera* está especialmente bien representada, con 117 géneros.

Ahora bien, la identificación de la totalidad de las especies polinizadoras de América del Norte resulta inviable, por lo que posiblemente haya polinizadores o grupos de polinizadores crípticos, raros o no detectados que no se incluyeron en la base de datos de supuestos polinizadores integrada para efectos utilizada para extraer registros del GBIF. Un gran número de polinizadores son extremadamente difíciles de detectar, capturar e identificar, lo que hace que incluso la extensa base de datos del GBIF resulte escasa para numerosos grupos taxonómicos y esté sesgada hacia taxones más carismáticos o visibles. Es importante señalar que los registros del GBIF indican el lugar donde se han observado y registrado los taxones; es decir, señalan la presencia de especímenes de supuestos polinizadores, mas no su ausencia. Además, el territorio subcontinental no está muestreado de forma homogénea: los lugares remotos, de topografía compleja, alejados de



asentamientos humanos o incluso percibidos como peligrosos rara vez cuentan con la intensidad de muestreo de los lugares de fácil acceso, lo que significa que los resultados no necesariamente reflejan el número relativo de especies presentes en cada país, ecosistema y tipo de hábitat. Con todo, el análisis de los datos extraídos sobre grupos taxonómicos y ubicaciones permite acercarse a un estado del conocimiento, aun si se reconoce que la verdadera diversidad de polinizadores en cualquier lugar sigue siendo desconocida, y que la investigación continua irá revelando nuevas áreas y especies de importancia. Los resultados de dicho análisis permiten también inferir lagunas de conocimiento y áreas de muestreo insuficiente.

Una somera revisión de la bibliografía publicada en la materia pone de relieve la rica diversidad de los polinizadores en América del Norte. Por ejemplo, existen 4,337 especies de abejas nativas conocidas en América del Norte (Kopec y Burd, 2017), con 4,000 de éstas sólo en Estados Unidos (Kopec y Burd, 2017; Moisset y Buchmann, 2011), y más de 900 en Canadá (Agriculture and AgriFood Canada, 2014). La diversidad de abejas silvestres en México se desconoce debido a las lagunas en el conocimiento y el muestreo actuales; sin embargo, se ha estimado en más de 1,800 especies (Freitas *et al.*, 2009).

El subcontinente alberga un gran número de especies de lepidópteros: de acuerdo con el Instituto Smithsonian, se tiene registro de cerca de 11,000 especies de polillas o palomillas (Smithsonian, s.f./b) y unas 750 especies de mariposas (Smithsonian, s.f./a). Algunos investigadores informan sobre la presencia en Canadá de un total de 5,405 especies de polillas y mariposas pertenecientes a 81 familias, y señalan otras 50 especies registradas mas no confirmadas (Pohl *et al.*, 2018; véase también Pohl *et al.*, 2019). La mayoría de esas especies corresponden a polillas, en tanto que 306 — pertenecientes a seis familias— son mariposas; asimismo, 207 son alóctonas (Pohl *et al.*, 2019). Un informe anterior (Hall, 2009) había dado a conocer la existencia de cuando menos 300 especies de mariposas en Canadá, cinco de ellas endémicas.

Entre las aves polinizadoras de América del Norte, las principales familias son *Trochilidae* (colibríes) con 109 especies, *Icteridae* (mirlos del Nuevo Mundo) con 23 especies, *Thraupidae* (tangaras) con trece especies, *Fringillidae* (pinzones comunes) con once especies, *Cardinalidae* (cardenales) con nueve especies y *Parulidae* (chipes del Nuevo Mundo) también con nueve especies. Los mamíferos polinizadores incluyen 16 especies nectarívoras de filostómidos (*Phyllostomidae*), todas con un área de distribución limitada; tres de estos murciélagos polinizadores habitan en Estados Unidos y una docena, en México (Arita y Santos del Prado, 1999; NRC, 2007); asimismo, tres son especies migratorias de larga distancia: el murciélago hocicudo de Curazao (*Leptonycteris curasoae*), el murciélago trompudo u hociquilargo mexicano (*Choeronycteris mexicana*) y el murciélago maguero (*Leptonycteris nivalis*) (NRC, 2007).

## 2.2 Diversidad de los polinizadores por ecorregión y hábitat

En Canadá, Estados Unidos y México existe una inmensa diversidad de tipos de hábitat para polinizadores, en elevaciones que oscilan entre los 86 metros bajo el nivel del mar y los 6,190 metros. Todos los biomas terrestres de mayor importancia —incluidos bosques tropicales y subtropicales, bosques y zonas boscosas de clima templado y boreal, matorrales y áreas boscosas arbustivas, sabanas y pastizales, desiertos y semidesiertos, y zonas polares y alpinas— se encuentran en el subcontinente, en quince regiones ecológicas terrestres de nivel I (CCA, 1997).

Según los datos extraídos del GBIF por las investigadoras, los polinizadores se encuentran en las quince ecorregiones de América del Norte. En Canadá, el mayor número de especies se encuentra en las ecorregiones Bosques Templados del Este (837 géneros) y Bosques Septentrionales (215

géneros), en tanto que un menor número de especies está presente en las ecorregiones de Taiga (22 géneros) y Tundra (once géneros). Los tipos de hábitat con mayor presencia de géneros registrados en la base de datos incluyen zonas agrícolas y urbanas, así como suelos desnudos, con 381 géneros en zonas de asentamiento urbano y 256 géneros en tierras de cultivo, probablemente un efecto de la actividad humana y, por tanto, de un gran esfuerzo de muestreo.

En el caso de Estados Unidos se registra una presencia especialmente elevada de especies polinizadoras en las ecorregiones Bosques Templados del Este (798 géneros) y Grandes Planicies (499 géneros), así como en las ecorregiones California Mediterránea (310 géneros) y Desiertos de América del Norte (227 géneros). Los registros obtenidos para las ecorregiones Taiga, Tundra y Sierras Templadas son más escasos (36, 41 y 56 géneros, respectivamente). Las ecorregiones áridas del suroeste estadounidense albergan una gran diversidad de abejas nativas. La mayor presencia relativizada de diversidad genérica de polinizadores en Estados Unidos se da en los bosques de latifoliadas perennifolios tropicales, seguidos de humedales, matorrales tropicales o subtropicales y pastizales tropicales o subtropicales. Al igual que en Canadá, los géneros registrados con una elevada presencia en Estados Unidos se concentran en zonas urbanas, así como en bosques de coníferas templados de latitudes más altas, matorrales tropicales o subtropicales y humedales. Los bosques de coníferas suelen ser más áridos, pero también más fáciles de muestrear que los de latifoliadas, y ocupan amplias franjas del oeste y el norte de Estados Unidos.

En México, los registros que apuntan a mayor presencia de especies polinizadoras corresponden a las ecorregiones Sierras Templadas (348 géneros) y Selvas Cálido-Secas (295 géneros), localizadas en las franjas noroeste y central del país, en regiones topográficamente diversas y en gran medida áridas. Ello sugiere que las zonas cálidas de alta productividad biológica y las regiones áridas de elevación diversa son fuentes de una rica diversidad genérica. Por tipo de hábitat, las mayores presencias registradas corresponden a tierras de cultivo y zonas de asentamiento urbano, seguidas de bosques de latifoliadas caducifolios tropicales o subtropicales y matorrales tropicales o subtropicales. Ahora bien, como se señaló ya párrafos arriba, las áreas con una alta incidencia de registros probablemente reflejan un sesgo en las actividades de observación, estudio y sondeos poblacionales. Aun cuando México alberga selvas tropicales tanto húmedas como secas y cubre una enorme diversidad de tipos de hábitat y topografía, y se sabe que importantes grupos de polinizadores —como los lepidópteros y los dípteros— aumentan su diversidad en los trópicos, llama la atención que el número total de géneros registrados en el país es considerablemente menor que el de Estados Unidos, lo que sugiere la probabilidad de que estos y otros grupos de taxones estén insuficientemente muestreados en el sur de México.

La dependencia que tienen las plantas respecto de la polinización animal es mayor en zonas tropicales y desérticas, y menor en la tundra, la taiga, los pastizales y los ecosistemas dominados por coníferas, donde las especies vegetales dominantes son polinizadas por el viento (Regal, 1982). Los sistemas tropicales húmedos y secos muestran una alta diversidad de polinizadores que abarcan numerosos grupos funcionales, entre los que se incluyen murciélagos nectarívoros (*Phyllostomidae*); colibríes (*Trochilidae*); abejas, abejorros, avispas, hormigas y otros (*Hymenoptera*); insectos con dos alas, como moscas, mosquitos, zancudos y tábanos (*Diptera*); mariposas y polillas (*Lepidoptera*), y escarabajos y gorgojos (*Coleoptera*). Los desiertos y los matorrales áridos son centros de diversidad para las abejas autóctonas, que resultan ser polinizadores excepcionalmente eficaces (Michener, 2000). Una gran diversidad de plantas de desiertos cálidos y fríos, predominantemente cactus, leguminosas y artemisa, depende de los polinizadores (Buchmann y Nabhan, 2012; Love y Cane, 2019). Y, como se señaló ya, la mayor diversidad registrada de géneros de polinizadores en Canadá y Estados Unidos se observa en los bosques templados caducifolios del este —en Quebec y Ontario, y al

oriente del Misisipi—, bosques que reciben abundantes precipitaciones y experimentan largas temporadas cálidas de crecimiento con una elevada productividad primaria, condiciones que pueden dar lugar a la diversidad de polinizadores. Con todo, hay que tener presente también que en esta región se concentran numerosas poblaciones humanas, lo que probablemente genera y explica un sesgo en las observaciones.

## 2.3 Especies sujetas a manejo e introducidas

Algunas especies polinizadoras son objeto de un manejo activo, es decir, están semidomesticadas, se producen en grandes cantidades y se compran y venden con fines comerciales (NRC, 2007). En América del Norte, se trata mayoritariamente de especies introducidas o exóticas, aunque algunas son nativas; su manejo es un reflejo de la gran importancia de los valiosos servicios ambientales que prestan como agentes de polinización, y las comunidades agrarias invierten considerables recursos en sus servicios

La especie polinizadora sujeta a manejo más común en los tres países del subcontinente es la abeja melífera europea (*Apis mellifera*), presente tanto en colmenas de cría activa como en colonias ferales distribuidas por todo el subcontinente. Hoy día, la mayoría de las colonias de abejas melíferas en todo México y el sur de Estados Unidos están africanizadas y contienen al menos algunos genes de *A. mellifera scutellata*, subespecie introducida en Brasil desde África en la década de 1950 con el propósito de elevar la productividad de las colonias de abejas melíferas (Kadri *et al.*, 2016). Las colonias de abejas africanizadas crecen y se reproducen más rápidamente que las colonias de abejas europeas y suelen ser más agresivas y difíciles de manejar, en función de la proporción de genes africanizados de la colonia.

La abeja melífera europea (*A. mellifera*) es tanto la especie exótica más extendida como el más abundante polinizador objeto de manejo en los tres países. En Canadá, casi 10,000 apicultores manejan un total de 773,000 colonias de abejas melíferas, según estimaciones del Consejo Canadiense de la Miel (*Canadian Honey Council, CHC*), siendo más común la apicultura en las provincias de Alberta, Saskatchewan y Manitoba, donde se concentran unas 533,000 colonias y se produce 79 por ciento de la miel canadiense (CHC, 2018). En Estados Unidos, las abejas ferales se han naturalizado en todos los tipos de ecosistemas y en todas las regiones del país es posible encontrar colmenas objeto de manejo. De acuerdo con cálculos del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (*United States Department of Agriculture, USDA*), existen 2.66 millones de colonias de abejas melíferas activamente manejadas, lo que supone un descenso en comparación con el récord de 4 millones alcanzado en la década de 1940 (USDA, 2021a). Con cerca de dos millones de colonias de abejas manejadas por 41,000 productores comerciales, México tiene una de las industrias productoras de miel más grandes del mundo (Nieto, 2011), encabezada por los estados de Yucatán, Campeche y Jalisco (Contreras Escareño *et al.*, 2016).

Los abejorros han sido introducidos como polinizadores alternativos en el mundo entero (NRC, 2007). Por ejemplo, en toda América del Norte se encuentra *Bombus terrestris*, traído desde Europa principalmente para la polinización de tomates de invernadero (Winter *et al.*, 2006). En Canadá, los abejorros se utilizan para polinizar 25 cultivos, sobre todo tomates y pimientos de invernadero (CFIA, 2013b).

También originaria de Europa, la abeja cortadora de hojas *Megachile rotundata* abunda hoy día en todo Canadá y es un importante polinizador manejado para la agricultura industrial del país: se utiliza para polinizar campos de semillas de alfalfa en Alberta, Saskatchewan y Manitoba, y da cuenta de aproximadamente la mitad de la polinización necesaria para la producción de semillas

híbridas de canola y otros cultivos de leguminosas, así como de zanahorias y arándanos o moras azules (CFIA, 2013a). Estas abejas —que también han sido introducidas en Estados Unidos como polinizadoras— llegan a multiplicar por veinte el rendimiento de las semillas de alfalfa, pero para ello deben introducirse en densidades muy altas en los campos de cultivo, lo que exige una intensa labor agrícola, toda vez que es necesario construir y trasladar los elementos para su anidación (Richards y Kevan, 2002). Se trata de abejas solitarias, que no forman grandes colonias, pero son los propios agricultores quienes la introducen en sus campos de cultivo (NRC, 2007). La abeja japonesa (*Osmia cornifrons*), otra especie también solitaria, se introdujo en Estados Unidos desde Asia como polinizadora de manzanas (Hedtke *et al.*, 2015).

Otras especies de abejas no-nativas comunes que se han introducido en Estados Unidos comprenden *Hylaeus* spp., *Andrena wilkella*, *Halictus tectus* y *Lasioglossum* spp., al igual que varias especies de las familias *Megachilidae* y *Apidae*, la mayoría de las cuales se introdujeron de forma accidental, probablemente transportadas en material vegetal (Russo, 2016). En Canadá, las especies de abejas megaquílicas introducidas que se han documentado incluyen *Anthidium* spp., *Chelostoma* spp., *Hoplitis anthocopoides*, *Osmia caerulescens* y *Megachile* spp. (Sheffield *et al.*, 2011).

Además de las abejas, entre los polinizadores no-nativos conocidos en Estados Unidos figuran moscas como la cosmopolita mosca doméstica (*Musca domestica*), la mariposa blanquita de la col (*Pieris rapae*) y diversas polillas o palomillas, entre las que figuran microlepidópteros. Canadá, por su parte, al ser la nación más fría y septentrional de América del Norte, cuenta con una menor diversidad de especies exóticas establecidas que los otros dos países, pero sus grandes zonas agrícolas han sido colonizadas por diversas especies euroasiáticas. Por ejemplo, se sabe que más de 200 especies de polillas alóctonas están establecidas en Canadá (Pohl *et al.*, 2019); otras especies introducidas incluyen moscas de la familia *Muscidae* y otros dípteros, escarabajos y hemípteros (cigarras, chinches y áfidos o pulgones), muchos de los cuales pueden ser polinizadores ocasionales o accidentales (Langor *et al.*, 2014). En México, otros polinizadores no-nativos incluyen varias moscas, polillas y mariposas introducidas (Suckling *et al.*, 2017). Más aún, puesto que los patrones globales de comercio continúan y las vías de detección —como la ciencia comunitaria y los métodos moleculares de identificación (mediante códigos de barras del ADN)— contribuyen cada vez más a subsanar lagunas en el conocimiento, es probable que se registren nuevas detecciones u observaciones de polinizadores alóctonos (Encarnaçãõ *et al.*, 2021, Jinbo *et al.*, 2011, Larson *et al.*, 2020).

Algunas especies nativas también son manejadas activamente. Por ejemplo, en México las abejas meliponas —sin aguijón— han sido objeto de manejo por su producción de miel y cera desde la época de los mayas. El estado de Yucatán es el centro de la producción de miel de melipona del país, y las técnicas apícolas más antiguas que se conocen en la entidad implican el cultivo, mantenimiento y manejo de colonias de *Melipona beecheii* en troncos huecos (Villanueva Gutiérrez *et al.*, 2005). La miel de melipona se produce en cantidades más pequeñas, a partir de colonias de menor tamaño, pero se considera más sabrosa y con más propiedades que la miel de *A. mellifera*, por lo que se vende a precios más elevados. Como especies nativas, las abejas *Melipona* spp. se crían utilizando métodos tradicionales y liban el néctar de flores autóctonas, por lo que representan una alternativa a *A. mellifera* a la luz de los problemas de competencia y transmisión de enfermedades.

Los abejorros nativos, como *B. impatiens* y *B. occidentalis*, son fáciles de criar, transportar y rastrear, y se utilizan en Estados Unidos, desde finales del siglo XX, principalmente para tareas de polinización en invernaderos (Velthuis, 2002); en la actualidad, se está investigando el uso de especies nativas de abejorros específicas de la región para la producción de tomates en invernaderos (Strange, 2015). Cabe destacar algunos logros en Estados Unidos en el ámbito de la agricultura, como la provisión de

hábitat para diversas comunidades de abejas nativas, y en particular las albañiles (*Osmia* spp.), con el propósito de favorecer una mayor producción de frutos en el cultivo de moras azules (Isaacs y Kirk, 2010; Stubbs *et al.*, 1997), o bien la complementación de poblaciones de *O. lignaria* ya existentes cerca de los campos focales de cultivo de fresa (Horth y Campbell, 2018). La abeja nativa *Nomia melanderi*, que anida en el suelo —preferentemente salitroso—, suele manejarse por su eficacia para polinizar la alfalfa: los agricultores favorecen la creación de nidos subterráneos con modificaciones a la salinidad del suelo (NRC, 2007). La abeja albañil del huerto (*Osmia lignaria*) es nativa de América del Norte y se maneja en el sur de Canadá para la polinización en manzanares y otros huertos frutales (Richards y Kevan, 2002); sus nidos se pueden mover con facilidad de un sitio a otro, y su introducción en densidades relativamente bajas conduce mayores rendimientos en la producción de fruta.

## 2.4 Tendencias poblacionales de los polinizadores

A escala mundial, cada vez preocupa más la emergente crisis en materia de polinizadores: el tamaño de las poblaciones y la diversidad de sus especies están disminuyendo y la polinización como función ecológica está en peligro. Así se puso de manifiesto desde 2016, en el informe que la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES, por sus siglas en inglés) publicó ese año (IPBES, 2016). Estudios posteriores han informado de descensos alarmantes de las poblaciones de insectos alrededor del mundo, en todos los grupos taxonómicos, regiones geográficas y tipos de hábitat (Hallmann *et al.*, 2017; Leather, 2018; Wagner, 2017 y 2020). Se ha determinado que 40 por ciento de las especies de insectos están amenazadas de extinción (Van Klink *et al.*, 2020) y dos grandes grupos de polinizadores (*Hymenoptera* y *Lepidoptera*) están en condiciones de especial riesgo (Sánchez Bayo y Wyckhuys, 2019). Los registros con que se cuenta son demasiado escasos para evaluar con precisión las disminuciones globales en las poblaciones de la mayoría de los grupos de moscas, micropolillas, escarabajos y otros polinizadores poco visibles, pero tres décadas de recolección de insectos en cientos de reservas naturales de Europa occidental han revelado reducciones precipitadas en todos los grupos taxonómicos en los últimos años (Vogel, 2017). Preocupan por igual las especies silvestres —desde una perspectiva de conservación— y las manejadas, con los consecuentes impactos en la agricultura (NRC, 2007). Los descensos de las poblaciones de abejas melíferas y las pérdidas de colmenas gestionadas a escala global han hecho que se disparen las alarmas entre las industrias agrícolas de países de todo el mundo (Paudel *et al.*, 2015). Asimismo, un análisis reciente basado en las clasificaciones de la Lista Roja de la UICN reveló que 15.6 por ciento de 1,162 polinizadores vertebrados en el planeta están actualmente amenazados de extinción (Aslan *et al.*, 2013).

La evaluación cuantitativa para América del Norte realizada por las investigadoras autoras del presente informe permitió identificar 1,159 especies de preocupación listadas en fuentes internacionales (59 especies), nacionales (35 especies) y estatales o provinciales (1,065 especies). Entre los vertebrados, figuran como especies de preocupación cuatro murciélagos y siete colibríes, todos ellos clasificados por la UICN como “casi amenazados”, “vulnerables”, “en peligro” o “en peligro crítico” (cuadro 1). En cuanto a los insectos polinizadores, 78.4 por ciento de las especies de preocupación son lepidópteros (mariposas y polillas); 13.4 por ciento himenópteros (abejas, abejorros, avispas y hormigas); 4.3 por ciento dípteros (moscas, mosquitos, zancudos y tábanos), y 3.9 por ciento coleópteros (escarabajos). Ahora bien, los lepidópteros son más fáciles de detectar e identificar que los demás grupos de insectos, por lo que es probable que los registros de su presencia y declive poblacional sean más completos. A medida que los estudios sobre polinizadores no lepidópteros se vayan expandiendo por todo el subcontinente, cabe esperar que se disponga de

más datos que indiquen la disminución de poblaciones en especies crípticas y que se añadan más especies a estas listas.

De acuerdo con los registros extraídos del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF), 716 de las especies de preocupación identificadas se encuentran en Canadá; 1,088 en Estados Unidos, y 201, en México. Las ecorregiones con mayor presencia de especies de preocupación corresponden a: Bosques Templados del Este (269 especies), Bosques Septentrionales (151 especies) y Grandes Planicies (100 especies) en Canadá; Bosques Templados del Este y Grandes Planicies, en Estados Unidos, Sierras Templadas y Selvas Cálido-Secas, en México.

Si bien los datos disponibles sobre las tendencias poblacionales de los polinizadores en América del Norte son en general limitados (NRC, 2007), lo cierto es que se han registrado descensos críticos en algunas especies ampliamente estudiadas, lo mismo silvestres que manejadas. Aunque no se trata estrictamente de un problema de conservación, el descenso poblacional de *Apis mellifera* en algunas regiones preocupa a los apicultores desde hace décadas (por ejemplo, Dicks *et al.*, 2021; NRC, 2007). El número de colmenas de abejas melíferas en Estados Unidos disminuyó casi 50 por ciento entre la década de 1940 y 2015 (PHTF, 2015b). Las pérdidas de colonias en hibernación registradas por los apicultores entre 2006 y 2015 alcanzaron una media de 31 por ciento, el doble del nivel económicamente sostenible (PHTF, 2015b), y los episodios de lo que se ha denominado “fenómeno de colapso de las colonias de abejas”, en el que colmenas completas mueren con una tasa elevada, se extendieron por todo Estados Unidos (Johnson y Steiner, 2000). De acuerdo con los resultados preliminares del censo anual nacional realizado en 2021 por la alianza Bee Informed Partnership (BIP), los apicultores estadounidenses perdieron, entre abril de 2020 y abril de 2021, 45.5 por ciento de las colonias de abejas melíferas bajo su manejo, lo que marca la segunda tasa de pérdida más alta desde que se inició el censo en 2006 (Universidad de Maryland, 2021). También en Canadá se ha registrado un aumento drástico en la mortalidad de las colonias de *A. mellifera* en las últimas décadas. En Ontario, por ejemplo, 46 por ciento de las colonias se perdió durante el invierno de 2017-2018 (OMAFRA, 2018), y, en general, la apicultura en todo el país ha disminuido en las últimas décadas, a tal grado que al arrancar el milenio había solamente 16 por ciento más apicultores que en 1945 (Melhim *et al.*, 2010).

**Cuadro 1. Polinizadores vertebrados identificados como especies de preocupación en la Lista Roja de la UICN**

Clase	Familia	Especie	Estado de amenaza	Países
<i>Mammalia</i>	<i>Phyllostomidae</i>	<i>Choeronycteris mexicana</i> (murciélago hociquilargo mexicano)	Casi amenazado	Estados Unidos, México
	<i>Phyllostomidae</i>	<i>Leptonycteris nivalis</i> (murciélago magueyero)	En peligro	Estados Unidos, México
	<i>Phyllostomidae</i>	<i>Leptonycteris yerbabuena</i> (murciélago magueyero menor)	Casi amenazado	Estados Unidos, México
	<i>Phyllostomidae</i>	<i>Musonycteris harrisoni</i> (murciélago platanero)	Vulnerable	México

Aves	Trochilidae	<i>Cyanthus lawrenceii</i> (colibrí pico ancho de Islas Mariás)	Casi amenazado	México
	Trochilidae	<i>Doricha eliza</i> (colibrí tijereta mexicano)	Casi amenazado	México
	Trochilidae	<i>Eupherusa cyanophrys</i> (colibrí oaxaqueño o miahuatleco)	En peligro	México
	Trochilidae	<i>Eupherusa poliocerca</i> (colibrí guerrerense o de cola blanca)	Vulnerable	México
	Trochilidae	<i>Eupherosa ridgwayi</i> (ninfa mexicana, colibrí hada mexicano o zafiro mexicano)	Vulnerable	México
	Trochilidae	<i>Lophornis brachylophus</i> (coqueta de Atoyac)	En peligro crítico	México
	Trochilidae	<i>Selasphorus rufus</i> (colibrí rufo o zumbador canelo)	Casi amenazado	Canadá, Estados Unidos, México

Fuente: UICN, Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), versión 3.

Poco se sabe sobre las tendencias poblacionales de abejas que no están sujetas a prácticas de manejo, mismas que constituyen la mayoría de los polinizadores (Lebuhn *et al.*, 2013; Winfree *et al.*, 2011). Aun así, en Estados Unidos se han documentado descensos en las poblaciones de algunas colonias de abejas silvestres. Un estudio realizado por una red sobre polinización de Illinois encontró que a lo largo de 120 años ha desaparecido la mitad de las especies de abejas y abejorros (Burkle *et al.*, 2013). En otra investigación se examinaron especímenes de especies de abejas silvestres del noreste de América del Norte conservados en museos. Aunque los registros históricos son escasos y la identificación a menudo se dificulta, los resultados obtenidos indican que aproximadamente 50 por ciento de las especies estudiadas experimentaron cambios considerables en su distribución — específicamente en la altitud o en la latitud—, con indicios de un descenso poblacional para 14 especies, y de un aumento para ocho especies, lo que pone de relieve lo variable de la vulnerabilidad entre los distintos taxones (Mathiasson y Rehan, 2019). En un análisis espacial de poblaciones de abejas silvestres, parametrizado a partir de estudios de abundancia y bases de datos de cobertura de suelo, se encontró que, entre 2008 y 2013, la abundancia modelizada de abejas silvestres disminuyó en 23 por ciento del territorio (superficie terrestre) estadounidense (Koh *et al.*, 2016).

Gracias a su tamaño y facilidad de identificación, los abejorros figuran entre los taxones de abejas nativas de los que se tiene mejor registro. Una comparación de registros históricos y datos contemporáneos demuestra que casi la mitad de las especies de abejorros estudiadas en América del Norte muestran algún indicio de declive poblacional (Colla *et al.*, 2012). Otro análisis de especímenes de museo y estudios dirigidos sobre abejorros reveló que cuatro especies mostraban

importantes descensos relativos de su población —de hasta 96 por ciento— y contracciones estimadas de su área de distribución de entre 23 y 87 por ciento (Cameron *et al.*, 2011); además, existen pruebas de la disminución en las poblaciones del abejorro *Bombus bifarius* (Cameron *et al.*, 2011; Spivak *et al.*, 2011). En Canadá, el abejorro de parche oxidado (*Bombus affinis*) y el abejorro cuco gitano (*Bombus bohemicus*) están actualmente designados como especies en peligro de extinción en la lista de la Ley de Especies en Riesgo (*Species at Risk Act*, SRA), y se estudia la posible inclusión en dicho listado —en distintas categorías de amenaza y riesgo con apego a la SRA canadiense— del abejorro americano (*Bombus pensylvanicus*), el abejorro cuco de Suckley (*Bombus suckleyi*), el abejorro de bandas amarillas (*Bombus terricola*) y las subespecies mckayi y occidental del abejorro occidental (*Bombus occidentalis mckayi* y *B. o. occidentalis*, respectivamente). En 2017, el abejorro de parche oxidado fue incluido por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre (*United States Fish and Wildlife Service*, USFWS) en la lista de especies en peligro de extinción de la Ley de Especies en Peligro de Extinción (*Endangered Species Act*, ESA) de Estados Unidos a raíz de pérdidas de 91 por ciento en sus poblaciones en dos décadas (Lambe, 2018). Ésta fue la primera abeja del territorio continental estadounidense en inscribirse en la lista, aunque ya el año previo se había incluido a siete abejas hawaianas del género *Hylaeus*.

Por otra parte, se tienen indicios de descenso en las poblaciones de algunas especies de mariposas y polillas. La mariposa monarca (*Danaus plexippus*) —especie cuya población oriental muestra una gran fidelidad a sus sitios de invernación en México, donde se registran altas concentraciones de especímenes, lo que permite realizar recuentos poblacionales precisos año tras año (Thogmartin *et al.*, 2017)—, ha registrado una disminución precipitada, con pérdidas en sus números de hasta 84 por ciento en las dos décadas transcurridas desde 1996 (Semmens *et al.*, 2016). En Ohio, más de 21 años de labores de monitoreo han demostrado que la abundancia de mariposas en general se redujo 33 por ciento, lo que equivale a los descensos observados en Europa (Wepprich *et al.*, 2019). Más aún, si bien son las especies especialistas y raras las que muestran disminuciones particularmente marcadas (Thomas, 2016), también se registran pérdidas en las poblaciones de las especies generalistas comunes, señal de que los diversos factores de presión experimentados por las poblaciones de mariposas se traducen en múltiples vías de cambios (Wepprich *et al.*, 2019). Sondeos poblacionales realizados en el marco de proyectos de ciencia ciudadana entre 1992 y 2010 demostraron desplazamientos hacia el norte en el rango de distribución de la mayoría de las especies de mariposas en Massachusetts, con contracciones del área de distribución para varias especies (Breed *et al.*, 2013). Debido a su apariencia llamativa, atractivo carismático y facilidad de identificación, las mariposas han sido más estudiadas que la mayoría de los grupos de insectos, pero hay que tener en cuenta que las disminuciones de población observadas en estos taxones probablemente están también ocurriendo en una gran cantidad de grupos de insectos, sin que se tenga registro de ello (Thomas, 2016).

Registros anecdóticos de coleccionistas de insectos en el noreste de Estados Unidos ponen de manifiesto una reducción generalizada de las poblaciones de polillas o palomillas en las últimas décadas, sobre todo entre las especies de gran tamaño (Wagner, 2012), lo que concuerda con resultados obtenidos en estudios y sondeos de poblaciones en Europa, las cuales han sido objeto de un monitoreo más prolongado (Fox, 2013). A partir de colecciones entomológicas históricas en museos ha sido posible concluir que durante más de un siglo se han registrado descensos en las poblaciones de ocho de las 22 especies de esfíngidos o polillas esfinge (*Sphingidae*) de dicha región estadounidense para las que se disponía de datos suficientes, mientras que cuatro especies aumentaron su población durante el mismo periodo de tiempo (Young *et al.*, 2017). En otro estudio, se encontró que la abundancia y diversidad de macropolillas en plantaciones orgánicas de soya en el este de Ontario resultaron considerablemente más altas que en las granjas convencionales, lo cual



realza la importancia de las prácticas humanas y los agentes de cambio antropogénicos (Put *et al.*, 2018).

A pesar de la diversidad del orden *Diptera* —como se señaló ya, se han registrado 124 familias y 24,210 especies en Canadá, Estados Unidos (región continental) y México (Thompson, 2006, en NRC, 2007)—, poco se ha estudiado a las moscas y el conocimiento acerca de la distribución y el tamaño de sus poblaciones en América del Norte es prácticamente inexistente; se desconoce el número de dípteros polinizadores y resulta prácticamente imposible determinar las tendencias poblacionales de las especies conocidas (NRC, 2007).

Entre los vertebrados, los polinizadores de América del Norte mejor estudiados son los colibríes. Más de 14 por ciento de las especies de estas pequeñas aves del continente americano —con especial concentración en el sur de México— se encuentra en peligro de extinción (Wethington y Finley, 2008). Por cuanto a los murciélagos polinizadores, a 2007 se disponía de escasa información sobre sus poblaciones (NRC, 2007), ello a pesar de los “importantes servicios que prestan a numerosas especies de plantas de América del Norte”, como los cactus columnares y los agaves.

## 2.5 Resumen y lagunas en el conocimiento

A pesar de la rica diversidad de especies de polinizadores observada en América del Norte, aún se desconocen el alcance o dimensión de esa diversidad y sus tendencias poblacionales, aunque es cierto que algunos órdenes, familias y géneros están mejor documentados que otros. Existe una carencia de conocimientos sobre las tendencias poblacionales de la mayoría de los insectos, toda vez que su estudio reviste particular dificultad y la falta de información de referencia obstaculiza las estimaciones cuantitativas de sus poblaciones (Colla *et al.*, 2012). Aún más, persisten lagunas de conocimiento derivadas de un muestreo insuficiente en regiones remotas y de grupos taxonómicos críticos, y también hace falta realizar estudios a largo plazo que permitirían comprender mejor las tendencias poblacionales y los factores de cambio. De ahí la necesidad de ampliar las evaluaciones y análisis poblacionales en términos tanto taxonómicos como geográficos (Didham *et al.*, 2020; Montgomery *et al.*, 2020; Simmons *et al.*, 2019).

Al interpretar los resultados de la evaluación cuantitativa de los registros del GBIF, resulta particularmente importante tomar en cuenta algunos aspectos de la labor de muestreo. En los tres países, vastas áreas con datos disponibles a partir de registros en el GBIF corresponden a zonas urbanas y de asentamiento humano, lo cual enfatiza la tendencia de las personas a recolectar y registrar las especies que encuentran en los lugares que suelen frecuentar, sin que ello necesariamente corresponda a —o refleje— la verdadera diversidad en dichos sitios. Aunque se sabe que las abejas exhiben su mayor diversidad en regiones áridas (Michener, 2000), es probable que otros polinizadores alcancen su nivel máximo de diversidad en los trópicos, al igual que ocurre con muchos otros grupos taxonómicos. La escasez general de registros en hábitats tropicales, así como el hecho de que existan menos observaciones en México que en Canadá, obedece sin duda a un muestreo desigual en los tres países y en los distintos tipos de hábitat, y no a una menor riqueza real de polinizadores. La falta de un muestreo homogéneo en todo el subcontinente da lugar a una gran laguna de conocimiento que, a su vez, se traduce en una subestimación de la diversidad y abundancia de polinizadores en algunas regiones y apunta a la necesidad de ampliar la labor de muestreo más allá de la cobertura dada por el ser humano.

Se sabe que las comunidades de polinizadores se mantienen en constante cambio en toda la región de América del Norte: se observan fluctuaciones de las poblaciones silvestres no solamente en respuesta a las cambiantes condiciones meteorológicas y climáticas anuales, sino también a otras

alteraciones de alcance global atribuibles, entre otros factores, al intercambio comercial, como la introducción de polinizadores exóticos, de forma intencionada o accidental. Si bien este hecho queda fuera del alcance del presente informe, cabe señalar que la posibilidad de que tales especies introducidas hayan pasado desapercibidas durante largos periodos. Las listas disponibles de polinizadores autóctonos y alóctonos (es decir, nativos y no-nativos) de los tres países están incompletas y poco se conocen las implicaciones que los cambios en las comunidades de polinizadores tienen para la polinización tanto de cultivos como de flora silvestre. Con todo, cada vez se realizan más estudios en torno a la eficacia de polinizadores distintos de las abejas melíferas (por ejemplo, las abejas nativas) en la polinización de cultivos, aunque el manejo de polinizadores silvestres sigue siendo un tema relativamente poco explorado en el sector agrícola.

Es importante lograr un buen entendimiento de los hábitats y las regiones donde las comunidades de polinizadores han sido menos estudiadas, sobre todo para efectos de su conservación y manejo adecuado en toda la región. Por ejemplo, en los hábitats boscosos, los polinizadores tienden a necesitar huecos o claros en las copas de los árboles y en los estratos arbustivos, para que la luz pueda facilitar el crecimiento en el sotobosque de plantas herbáceas con flores (Hanula *et al.*, 2016). El crecimiento excesivo de la vegetación leñosa, consecuencia de cambios como la supresión de incendios, puede reducir la presencia de hábitats favorables para las especies polinizadoras en los paisajes forestales. En ese sentido, un manejo forestal propicio para los polinizadores puede incluir la creación de espacios abiertos que permitan el paso de la luz, o bien la plantación de especies que producen polen y néctar para sustentar poblaciones de polinizadores a lo largo de los derechos de vía (Hanula *et al.*, 2016).

## 2.6 Mensajes a destacar

- Los polinizadores se componen de especies tanto autóctonas (nativas) como alóctonas (no-nativas) y pueden ser silvestres o estar sujetos a manejo. La mayoría de los polinizadores de América del Norte son insectos: desde abejas, avispas y mariposas hasta moscas y escarabajos. Un estudio cuantitativo identificó más de 24,000 especies de insectos polinizadores pertenecientes a 2,829 géneros en Canadá, Estados Unidos y México. De estos géneros de insectos, 2,592 se han registrado en Estados Unidos, 1,645 en Canadá y 1,082 en México. Las especies polinizadoras incluyen aves (colibríes) y murciélagos, aunque estos últimos sólo se encuentran en Estados Unidos y México. Si bien el número de especies de polinizadores registrado en México es inferior al de Canadá y Estados Unidos, ello es probablemente resultado de un sesgo observacional.
- Los polinizadores se encuentran en toda América del Norte, aunque hay más especies registradas en algunas ecorregiones, como los bosques templados orientales —en el este de Canadá y Estados Unidos—, y las sierras templadas y selvas cálido-secas de México. Ahora bien, los muestreos y observaciones se han realizado de forma desigual en todo el subcontinente por cuanto a ubicaciones geográficas y taxones se refiere, de manera que los lugares remotos, de gran complejidad topográfica, alejados de la ocupación humana o percibidos como peligrosos, y los taxones crípticos y difíciles de detectar o identificar, rara vez son objeto de la misma intensidad de muestreo que aquellos de fácil acceso y observación. Por lo tanto, la carencia de registros de polinizadores en una ecorregión o hábitat en particular sólo puede interpretarse como una falta de presencia confirmada, más que como una ausencia real. Las listas taxonómicas que se presentan en este informe inevitablemente incorporan esta incertidumbre.

- En América del Norte son muy pocas las especies polinizadoras sujetas a manejo activo, es decir, semidomesticadas, producidas en grandes cantidades y compradas y vendidas en el comercio. En su mayoría se trata de especies introducidas o exóticas, aunque algunas son nativas. Si bien las abejas melíferas son las más utilizadas y conocidas, otros polinizadores objeto de manejo incluyen las abejas albañil, algunas especies de abejorros y las abejas cortadoras de hojas de alfalfa. Asimismo, los tres países cuentan con varias especies invasoras que pueden ser polinizadoras, como la cosmopolita mosca doméstica y la mariposa blanquita de la col, así como diversas polillas o palomillas, escarabajos y hemípteros (cigarras, chinches y áfidos o pulgones). Los insectos nativos también son importantes polinizadores para la agricultura y unos cuantos se manejan activamente, incluidas algunas especies de abejorros.
- En la evaluación cuantitativa para América del Norte realizada por las investigadoras autoras del presente informe se identificaron 1,159 de preocupación listadas en fuentes internacionales (59 especies), nacionales (35 especies) y estatales o provinciales (1,065 especies). Entre los vertebrados, figuran como especies de preocupación cuatro murciélagos y siete colibríes, todos ellos clasificados por la UICN como “casi amenazados”, “vulnerables”, “en peligro” o “en peligro crítico”. En cuanto a los insectos polinizadores, 78.4 por ciento de las especies de preocupación son lepidópteros (mariposas y polillas); 13.4 por ciento himenópteros (abejas, abejorros, avispas y hormigas); 4.3 por ciento dípteros (moscas, mosquitos, zancudos y tábanos), y 3.9 por ciento coleópteros (escarabajos).
- Entre las especies de preocupación, 716 se encuentran en Canadá; 1,088 en Estados Unidos, y 201 en México. Las ecorregiones con mayor presencia de especies de preocupación en Canadá son los Bosques Templados del Este, los Bosques Septentrionales y las Grandes Planicies. En Estados Unidos, también los Bosques Templados del Este y las Grandes Planicies son los hábitats con mayor presencia de especies de preocupación, mientras que en México éstos corresponden a las Sierras Templadas y las Selvas Cálido-Secas.
- Aun cuando los datos sobre las tendencias poblacionales de los polinizadores en América del Norte de que se dispone son en general limitados, se han registrado descensos críticos en las poblaciones de algunas especies ampliamente estudiadas, lo mismo silvestres y nativas que las sujetas a manejo. La población de muchas especies de mariposas, polillas y abejas ha disminuido, aun cuando también es cierto que en unos pocos casos se han registrado aumentos. Asimismo, algunas especies de colibríes suscitan también preocupación. Respecto a los murciélagos nectarívoros, no se dispone de datos suficientes que permitan determinar sus tendencias poblacionales.

### **3 Factores de cambio**

Algunos estudios de alcance mundial sobre los principales factores de cambio que contribuyen al descenso de las poblaciones de las especies polinizadoras han identificado una serie de causas que influyen en las tendencias que amenazan a la biodiversidad en todo tipo de ecosistemas y regiones geográficas (Janzen y Hallwachs, 2019; Sánchez Bayo y Wyckhuys, 2019; Wagner, 2020). Los polinizadores se enfrentan a un amplio abanico de nuevos y crecientes factores de cambio, como la pérdida y fragmentación del hábitat; la exposición a plaguicidas; la propagación de enfermedades y parásitos; la contaminación de los suelos, el aire y los cursos de agua; la introducción de competidores y depredadores alóctonos (no-nativos); la explotación directa, y los efectos del cambio climático (Gill *et al.*, 2016; Potts *et al.*, 2010; Vanbergen e Insects Pollinator Initiative, 2013).

Todos estos factores actúan de forma lo mismo independiente que sinérgica (Brook *et al.*, 2008a), y la dinámica de las poblaciones de polinizadores en respuesta a estos factores interactivos puede ser compleja y difícil de predecir.

La UICN enumera las causas de preocupación por cuanto a la conservación de las especies que evalúa. En el caso de los invertebrados de América del Norte incluidos en la Lista Roja de la UICN (solamente 70 especies), la causa que con mayor frecuencia se enumera es la pérdida general de hábitat, seguida de la deforestación y el cambio climático (gráfica 1).

En este apartado se examina lo que los estudios disponibles identifican como factores de cambio para diversos polinizadores de América del Norte.

**Gráfica 1. Causas identificadas de preocupación respecto de especies polinizadoras invertebradas**



Fuente: Gráfica derivada de la Lista Roja de la UICN.

### 3.1 Pérdida y fragmentación del hábitat y uso del suelo

El factor de cambio más generalizado y con mayor repercusión para las especies polinizadoras de América del Norte es la pérdida de hábitat provocada por cambios en el uso del suelo. En Estados Unidos, las abejas distintas de las *Apis*, las mariposas, los murciélagos y otros polinizadores manejados o silvestres se ven afectados por la pérdida y degradación del hábitat, y hay pruebas concluyentes de que la pérdida de hábitat ha provocado un descenso de las poblaciones de algunas especies (NRC, 2007; Potts *et al.*, 2010). El ya mencionado estudio que descubrió que las poblaciones de abejas silvestres se habían reducido en 23 por ciento de la superficie terrestre de Estados Unidos mostró también que la disminución de la abundancia fue particularmente pronunciada en lugares con mayor presencia de cultivos dependientes de polinizadores, en parte debido a la transformación del hábitat natural a cultivos en hileras (Koh *et al.*, 2016). Del mismo modo, en las selvas tropicales de México se ha demostrado que la fragmentación del hábitat reduce la abundancia total de polinizadores (Aguirre y Dirzo, 2008). Entre los polinizadores de particular

susceptibilidad se incluyen probablemente las especies especialistas, con requisitos únicos de alimentación o anidamiento, toda vez que la transformación de los ecosistemas puede conllevar la pérdida de tales recursos críticos (Potts *et al.*, 2010). Por ejemplo, un estudio sobre la fragmentación del hábitat en el desierto de Sonora reveló que cuanto menor el tamaño de los fragmentos, menor la presencia de especies de abejas especialistas, aunque las especies generalistas no parecían verse afectadas por dicha fragmentación (Cane *et al.*, 2006).

La pérdida de hábitat se considera un factor determinante del descenso de las poblaciones de murciélagos, y es probable que las perturbaciones antropogénicas y la presencia humana en cuevas hayan acabado con importantes lugares de descanso y cría para los murciélagos en diversas zonas. Los murciélagos son animales de tamaño suficiente y gran movilidad, atributos que les permiten conectar hábitats en áreas perturbadas o paisajes fragmentados, lo que podría convertirlos en una importante fuente de flujo genético vegetal ante los cambios ambientales regionales (Herrerías Diego *et al.*, 2006).

A medida que el subcontinente se desarrolla e interconecta cada vez más, se construyen nuevos corredores de transporte y grandes parques solares y eólicos que se intersecan con hábitats de especies polinizadoras. Aunque rara vez se habla de ello como una amenaza grave en comparación con la pérdida de hábitats debida a la agricultura y la expansión urbana, el cambio climático, los plaguicidas y las enfermedades, cabe señalar que un estudio de extrapolación de la mortalidad en carreteras reveló que miles de millones de insectos polinizadores pueden morir cada año a causa del tránsito vehicular (Baxter Gilbert *et al.*, 2015), con mayores probabilidades de colisión en los corredores de transporte de alta velocidad.

La construcción de carreteras también altera los bordes de los caminos, espacios que suelen ser puntos críticos por cuanto a colonización de especies vegetales invasoras. A fin de evitar tales invasiones, la restauración de bordes de carreteras tiene como objetivo plantar especies nativas, a menudo privilegiando especies beneficiosas para los polinizadores con miras a reforzar su hábitat en toda una región (Wojcik y Buchmann, 2012). Por ejemplo, en Canadá y Estados Unidos, más de 200 organizaciones participan en el Grupo de Trabajo sobre Derechos de Vía como Hábitats para, en colaboración con las industrias de gas, electricidad, ferrocarriles y caminos, restaurar hábitats. No obstante, está demostrado que el hábitat a orillas de carreteras que sustenta y atrae a especies polinizadoras también propicia un mayor riesgo de colisión con vehículos (Keilsohn *et al.*, 2018). Al respecto, se necesita más investigación para determinar si el aumento de hábitat propicio para la presencia de polinizadores derivado de actividades de restauración a lo largo de carreteras y caminos en efecto supera la mortalidad relacionada con las colisiones.

El uso del suelo con fines agrícolas afecta a los polinizadores de muy diversas maneras. Las superficies agrícolas de monocultivo, en las que se cultiva una única especie o producto, contienen por definición un número mínimo de grupos funcionales de plantas y, por tanto, albergan una diversidad mínima de polinizadores. Por consiguiente, representan el hábitat de menor calidad para los polinizadores y, por lo general, sólo sustentan a aquellas especies capaces de satisfacer sus necesidades de alimentación y anidamiento con los recursos homogéneos que ofrece el monocultivo (Kennedy *et al.*, 2013). El arado convencional genera campos que carecen de hábitat propicio para los polinizadores, aun cuando éstos pueden persistir en zonas circundantes a los campos y ofrecer servicios o repoblarse a medida que crecen y florecen los cultivos y las plantas asociadas. La agricultura convencional también recurre con frecuencia al uso de plaguicidas químicos para eliminar herbívoros nocivos y malezas (como se explica más adelante).

Uno de los principales componentes de la industria agropecuaria en América del Norte son las tierras de pastoreo para la producción ganadera. Aunque en general las pasturas reciben cuidados

menos esmerados y suelen estar menos trabajadas o modeladas que las tierras de cultivo o los sistemas agroforestales, está comprobado que décadas de pastoreo terminan por transformar los ecosistemas de pastizales: se reducen la cobertura total y la diversidad de especies herbáceas con flores; se degradan las zonas riparias, a menudo con la consecuente pérdida de sus especies vegetales propias, y se compactan los suelos (Lázaro *et al.*, 2016a y 2016b; Tadey, 2015). Como resultado, los polinizadores encuentran fuentes de alimento reducidas y menos sitios de anidamiento. Entre las medidas de restauración de pastizales benéficas para los polinizadores se cuentan el restablecimiento de zonas riparias; el uso de cercos para impedir el acceso a dichas áreas, al tiempo de suministrar agua mediante bombas solares; la reducción de la densidad del ganado y disminución de las zonas de pastoreo, a fin de permitir que el suelo se recupere, y la plantación de pequeñas parcelas de plantas herbáceas floríferas y de plantas que producen polen y néctar para el sustento de polinizadores (Mitchell *et al.*, 2013; Winsa *et al.*, 2017).

La agroforestería o agrosilvicultura también se practica en América del Norte, y abarca plantaciones forestales y otras empresas de productos madereros, al igual que cultivos, como el café, que pueden plantarse a la sombra de los árboles y así formar parte de sistemas agroforestales multiestrato. Las plantaciones mixtas que incluyen plantas herbáceas rastreras o tapizantes, arbustos con flores y árboles ofrecen ecosistemas estructuralmente diversos para las comunidades de polinizadores (Kay *et al.*, 2020; Kuyah *et al.*, 2017). Algunos polinizadores anidan en árboles o en madera muerta y otros tallos, y los agroecosistemas de estructura compleja satisfacen tales requisitos para la anidación. Al igual que ocurre con los cultivos agrícolas, es menos probable que la agroforestería sirva de sustento a los polinizadores cuando los árboles y arbustos se plantan en monocultivos densos con pocas posibilidades de sustentar una diversidad de grupos funcionales de flores (Jose, 2012).

Las especies polinizadoras invertebradas son especialmente susceptibles a pequeños cambios en la disponibilidad y conectividad del hábitat al tener áreas de distribución más bien limitadas, sobre todo en el caso de las abejas solitarias de cuerpo más pequeño. Existe una asociación relativamente positiva entre el tamaño corporal y el radio del área de búsqueda de alimento a partir de un punto central (por ejemplo, los nidos en el suelo donde las hembras concentran recursos de aprovisionamiento para sus huevos y crías. Lo que podría considerarse como fluctuaciones menores en la conectividad o disponibilidad del hábitat puede tener ramificaciones y efectos amplificadas para las abejas solitarias: téngase presente que algunas especies más pequeñas tienen radios de hábitat en áreas con un radio de apenas decenas de metros (Greenleaf *et al.*, 2007).

## 3.2 Especies introducidas

Las especies alóctonas o no-nativas, tanto de polinizadores como de plantas, pueden tener repercusiones en los polinizadores nativos, aunque en general se desconocen las consecuencias de su introducción para la polinización de plantas nativas. De hecho, pocas han sido suficientemente estudiadas como para tener un conocimiento claro de qué plantas o polinizadores nativos pueden verse afectados por las especies introducidas.

Como ya se ha dicho, el polinizador alóctono más extendido en América del Norte es la abeja melífera europea (*Apis mellifera*), y cada vez se tienen más indicios del impacto que su introducción ha ejercido en el medio ambiente, incluidos los efectos de su competencia con especies nativas y la transmisión de enfermedades y parásitos (Paini, 2004; Thomson, 2016). Las colonias de abejas melíferas son trasladadas, se complementan y se introducen en nuevos ecosistemas como resultado de su manejo; pueden alcanzar un número muy elevado de individuos, y —gracias a su ciclo

biológico eusocial— sus abejas suelen permanecer activas en el medio ambiente durante temporadas más largas que las abejas solitarias nativas. Como consecuencia, *A. mellifera* suele dominar la comunidad de polinizadores en cuanto a abundancia y actividad. Es capaz, por ejemplo, de competir por los recursos para su alimentación con las especies autóctonas, lo que a su vez provoca una disminución en la densidad de estas últimas (Thomson, 2016). Más aún, la mera abundancia de las abejas melíferas las hace propensas a encontrarse o tener contacto con insectos nativos, lo cual aumenta la probabilidad de transmisión de patógenos cuando las colmenas están infectadas por enfermedades o parásitos (Nanetti *et al.*, 2021). Más aún, la presencia de colonias de abejas melíferas, incluso en pequeñas densidades, puede tener ramificaciones negativas y perturbadoras en las redes de plantas y polinizadores al interior de los ecosistemas locales, y la presencia prolongada de colonias de *A. mellifera* bajo manejo comercial incide en la composición de las comunidades florales de los ecosistemas con el paso del tiempo (Valido *et al.*, 2019).

Otros polinizadores sujetos a prácticas de manejo, como *Bombus* spp., *Osmia lignaria* y *Megachile rotundata*, se utilizan cada vez más entre los agricultores y sus colonias también suelen ser trasladadas de un paisaje a otro, lo que da lugar a procesos de introducción que provocar una reestructuración de las comunidades de especies polinizadoras nativas, al alterar la competencia y trastocar tanto la distribución como la función de las plantas que les sirven de alimento, con el consiguiente aumento de la propagación de enfermedades, tal y como se explica más adelante. Al igual que ocurre con *A. mellifera*, resulta que *B. terrestris* compite con los polinizadores nativos y actúa como vector de enfermedades en los ecosistemas donde se ha naturalizado.

### 3.3 Contaminación, plaguicidas y enfermedades

La contaminación que afecta el suelo, el agua y el aire tiene consecuencias para todos los polinizadores. Además de plaguicidas, herbicidas y fertilizantes químicos, entre las fuentes de importancia se incluyen los contaminantes atmosféricos: se ha comprobado que, vía la deposición de sustancias y su absorción en las plantas, la contaminación atmosférica guarda relación con la disminución en las poblaciones de los polinizadores. Por ejemplo, el aumento de la deposición de nitrógeno procedente de la contaminación de los vehículos en el área de la bahía de San Francisco (Estados Unidos) se relacionó con un mayor crecimiento de pastos no-nativos y, por consiguiente, con una disminución de los recursos propicios para los polinizadores, con afectación sobre todo en el caso de una mariposa en peligro de extinción (Weiss, 1999). Este hallazgo llevó a un examen más amplio de la lista de la Ley de Especies en Peligro de Extinción (*Endangered Species Act*, ESA) de Estados Unidos, que descubrió que 78 especies listadas se ven afectadas por la contaminación atmosférica por nitrógeno (Hernández *et al.*, 2016). Otro de los efectos de la contaminación del aire es la interferencia con los rastros de aromas florales que siguen los polinizadores (McFrederick *et al.*, 2008).

Un número importante de especies de abejas nativas anidan en el suelo, donde crean y aprovisionan celdas de cría para las larvas. Las actividades industriales pueden dar lugar a la acumulación en el suelo de metales pesados como hierro, cobre, zinc, mercurio y plomo. Resultados experimentales muestran que la reproducción de los polinizadores se ve obstaculizada por niveles tóxicos de metales en el suelo (Moroñ *et al.*, 2014). Se ha observado que la diversidad y la abundancia de las abejas silvestres disminuyen en relación proporcional con gradientes de aumento de la concentración de metales pesados en el suelo, y estos efectos, a su vez, repercuten en los servicios de polinización (Moroñ *et al.*, 2012). Por ejemplo, las visitas de las abejas a girasoles cultivados en

suelos contaminados con plomo fueron significativamente más cortas que las visitas a girasoles del grupo control (Sivakoff y Gardiner, 2017).

Aplicados en plantas y suelos, los plaguicidas tienen como objetivo combatir a los invertebrados que suponen una amenaza para los cultivos, pero también afectan directamente a las especies polinizadoras. La exposición a plaguicidas tiene en los insectos polinizadores diversos efectos documentados, como la reducción de la eficiencia en la obtención de alimento, una menor presencia o frecuencia del contacto con flores y un más limitado acceso al polen, así como la alteración en su capacidad de navegación u orientación espacial (Köhler y Triebkorn, 2013; Stanley *et al.*, 2015). Se ha observado un declive en las poblaciones de polinizadores directamente relacionado con el aumento del uso de plaguicidas (Walker y Wu, 2017). En las últimas dos décadas, el uso de neonicotinoides —sustancias que interfieren con el sistema nervioso central de los insectos e impactan en su navegación, capacidad de búsqueda de néctar y polen, reproducción y respuesta inmune— se ha disparado en todo el mundo (Martin Culma y Arenas Suárez, 2018; Van der Sluijs *et al.*, 2013). Este aumento viene acompañado de considerables disminuciones de las poblaciones de abejas, fenómeno que se ha detectado en sistemas dispares de todo el mundo (Lambe, 2018; Rundlöf *et al.*, 2015; Woodcock *et al.*, 2017). Un análisis de la aplicación de plaguicidas a escala condal en el este de Estados Unidos desde 1997 demostró un aumento de nueve veces en la letalidad de los plaguicidas con base en los ingredientes activos, muy por encima de los aumentos reales en los volúmenes de plaguicidas aplicados durante el mismo periodo (Douglas *et al.*, 2020). La exposición a plaguicidas se identificó como un factor determinante en la disminución de las poblaciones de *Bombus affinis* e *Hylaeus* spp. (Lambe, 2018). Asimismo, en California también se ha asociado el descenso de las poblaciones de mariposas al mayor uso de plaguicidas neonicotinoides, siendo las especies de cuerpo pequeño las que presentan una mayor vulnerabilidad (Forister *et al.*, 2016).

Muchas de las especies polinizadoras manejadas en América del Norte —lo mismo nativas que introducidas— están expuestas a parásitos y enfermedades. Así, por ejemplo, en condiciones de manejo, las colonias de *Bombus impatiens* y *B. occidentalis* pueden llegar a ser bastante numerosas y densas, por lo que están sujetas a brotes de enfermedades y la acumulación de parásitos (Sachman Ruiz *et al.*, 2015). La abeja cortadora de hojas *Megachile rotundata* se ve frecuentemente afectada por la ascosferosis (cría calcificada, cría encalada o cría yesificada), enfermedad fúngica larvaria que se suma a los efectos de la dispersión de plaguicidas (NRC, 2007). Por cuanto a las abejas melíferas, al tratarse de especies manejadas con fines agrícolas desde hace mucho tiempo, sus enfermedades han sido mejor estudiadas, con un seguimiento más prolongado, en comparación con las que aquejan a las abejas nativas. Empero, las enfermedades y parásitos de las abejas silvestres también despiertan preocupación.

Como se ha señalado, las abejas melíferas y otras variedades sujetas a manejo pueden transmitir enfermedades a las especies silvestres (Graystock *et al.*, 2016), y a menudo los movimientos o traslados con intervención humana de abejas manejadas dan lugar a la introducción de enfermedades en nuevas regiones y ecosistemas. El virus de las alas deformadas y otras enfermedades se pueden transferir de las colonias manejadas de abejas melíferas a las de abejorros. Entre los parásitos de especial preocupación se encuentran *Nosema bombi* y *Crithidia bombi*, así como los ácaros (Cameron *et al.*, 2011; Meeus *et al.*, 2011; Schweizer *et al.*, 2012). Las abejas infectadas por parásitos intestinales (*Nosema* spp.) muestran una mayor vulnerabilidad al *Varroa destructor*, y el efecto combinado de ambos parásitos eleva su mortalidad (Bahreini y Currie, 2015). Un análisis genético de poblaciones de abejorros en descenso halló índices de infección más elevados por el patógeno microsporidio *Nosema bombi* en el intestino medio y una reducción



general de la diversidad genética en comparación con poblaciones estables (Cameron *et al.*, 2011). En Estados Unidos se ha descubierto que la abeja japonesa (*Osmia cornifrons*) —introducida— es portadora de hongos patógenos, con el potencial de transmitir patógenos a congéneres nativos (Hedtke *et al.*, 2015).

Por otra parte, un elemento de preocupación de reciente surgimiento en la conservación de los murciélagos es el síndrome de la nariz blanca, enfermedad fúngica que ataca a estos mamíferos polinizadores en sus dormideros. Desde su aparición como amenaza grave para los murciélagos de América del Norte, la enfermedad se ha mantenido de alguna manera restringida a las zonas más húmedas del este de Canadá y Estados Unidos (Hammerson *et al.*, 2017); sin embargo, se han detectado algunos casos en el oeste, lo que suscita inquietudes por cuanto a que la enfermedad se esté extendiendo y pueda acabar estableciéndose entre las colonias de murciélagos nectarívoros en el suroeste de Estados Unidos y en México (Maher *et al.*, 2012).

### 3.4 Cambio climático e incendios

Con una repercusión directa en los polinizadores, el cambio climático actúa en sinergia con otros factores de modificación. El conocimiento que se tiene del impacto del fenómeno climático en las especies polinizadoras es limitado, dada la escasez de datos a largo plazo (Dicks *et al.*, 2021); sin embargo, lo cierto es que las alteraciones en la temperatura y las precipitaciones imponen condiciones de estrés fisiológico a los polinizadores y a las especies de las que liban; además, las áreas de distribución de los polinizadores registran desplazamientos conforme éstos van siguiendo cubiertas de suelo cambiantes en función del clima o un conjunto de condiciones meteorológicas adecuadas (Thuiller, 2004). Los distintos grupos taxonómicos parecen modificar su distribución a ritmos diferentes. Además de afectar la disponibilidad de los recursos florísticos y diversos aspectos fenológicos (de los ciclos de vida y su variación estacional), el cambio climático también influye de modo indirecto en los polinizadores, al alterar las dinámicas de plagas, patógenos, depredadores y competidores (Le Conte y Navajas, 2008; Potts *et al.*, 2010).

Se han registrado —y también previsto en proyecciones— desplazamientos de las áreas de distribución de mariposas (Bedford *et al.*, 2012), abejas (Sirois Delisle y Kerr, 2018) y colibríes (Buermann *et al.*, 2011), entre otros taxones. Se anticipa que el cambio climático genere desplazamientos en la distribución y expansión de especies hacia el norte desde Estados Unidos y que las especies alóctonas que entran en Canadá procedentes de todo el mundo puedan establecerse con mayor grado de éxito (Kerr, 2001; Sirois Delisle y Kerr, 2018; Walther *et al.*, 2009). Ahora bien, a medida que la distribución de los polinizadores se modifica, éstos podrían —o no— compartir el hábitat con las mismas especies de plantas a las que suelen estar asociados, y también podría ocurrir que se desincronizaran fenológicamente con el momento de floración de las plantas. Los polinizadores generalistas podrán interactuar con otras especies en sus nuevas áreas de distribución, pero los polinizadores especialistas podrían quedar espacialmente separados de la vegetación con la que antes estaban asociados. A escala de ecosistema, estos cambios podrían entrañar toda una reconfiguración de las redes de interacción, y los polinizadores interactuarían con nuevas plantas (Dalsgaard *et al.*, 2013). Muy probablemente, esta reconfiguración generará ganadores y perdedores: algunas plantas tendrían un mayor éxito reproductivo, mientras que otras se verían afectadas en forma adversa.

Las alteraciones en el régimen de incendios también son factores de cambio. Puede ocurrir que, sin elementos de adaptación al fuego, las especies vegetales nativas no logren recuperarse tras un incendio, dando lugar a un ciclo de invasión-incendio en el que las zonas quemadas acaben siendo

colonizadas por monocultivos de vegetación no-nativa e inflamable. A modo de ejemplo, cabe mencionar el desierto de Sonora, en el norte de México y el suroeste de Estados Unidos, importante centro de diversidad de abejas de América del Norte, con especies endémicas y una singular capacidad de adaptación. Este desierto está sometido a una cada vez mayor invasión de pastos no-nativos procedentes de Eurasia (McDonald y McPherson, 2013), vegetación invasora que deviene combustible continuo y que, por ello, ha introducido los incendios en el sistema. Las plantas nativas de las que se suelen alimentar los polinizadores en este desierto, como los cactus y algunas leguminosas, toleran mal el fuego y sucumben en los incendios que, a su vez, provocan una mayor propagación de pastos, con lo que se reducen aún más los recursos de los polinizadores en zonas cada vez más extensas. Bajo este esquema cíclico, los espacios que han sido objeto de incendios se convierten en hábitats poco propicios para los polinizadores, carentes de plantas nativas en las cuales éstos puedan libar, con una diversidad funcional reducida y una mayor frecuencia de incendios (Abatzoglou y Kolden, 2011; Fuentes Ramírez *et al.*, 2016; Gray *et al.*, 2014).

### 3.5 Factores adicionales

Otros factores que afectan las poblaciones de las especies polinizadoras interactúan y generan impactos adicionales. La instalación de parques eólicos y solares va en aumento en toda América del Norte; estas estructuras para generar energía renovable ocupan grandes extensiones de terreno y constituyen amenazas de mortalidad para algunos polinizadores. Las colisiones de aves y murciélagos con las turbinas eólicas constituyen un motivo de especial preocupación (Drewitt y Langston, 2006; Lintott *et al.*, 2016; Marques *et al.*, 2014). También se ha registrado la muerte de aves y murciélagos por colisiones con paneles solares, e incluso por el calor excesivo que generan estos artefactos (Upton, 2014). Sin embargo, los hábitats ubicados en parques eólicos pueden ser beneficiosos para las abejas y otros polinizadores si las extensas áreas de cubierta vegetal abierta, en la base de las turbinas, presentan una gran abundancia y diversidad de flores (Pustkowiak *et al.*, 2018). Y algo similar puede afirmarse de las granjas solares cuando éstas sustentan una cubierta vegetal que conforma un hábitat de alta calidad para los polinizadores (Hernández *et al.*, 2019).

Las poblaciones de polinizadores se reducen cuando sus especímenes mueren o son capturados y sustraídos de la naturaleza. Los murciélagos, importantes polinizadores en México y el suroeste de Estados Unidos, a veces son sacrificados intencionadamente por el ser humano debido a una infundada preocupación en torno a la rabia y otras zoonosis, o por considerárseles animales molestos (Arita y Santos del Prado, 1999; O'Shea *et al.*, 2016). Asimismo, la matanza de colibríes para confeccionar amuletos para el amor, de venta en el mercado negro, es responsable de la muerte de miles de estas pequeñas aves cada año (Ebersole, 2018).

A menudo, múltiples factores parecen estar relacionados con la reducción de la población de una especie. Por ejemplo, las abejas nativas sin aguijón, manejadas durante generaciones para la producción de miel en México, se enfrentan ahora a los impactos del cambio climático, la deforestación y la competencia y transmisión de enfermedades de las abejas melíferas: se ha calculado y documentado una disminución en los últimos 40 años de 90 por ciento en las colmenas de abejas *Melipona* spp. sujetas a manejo (FAO, 2008). Los cambios medioambientales y la pérdida de técnicas tradicionales de meliponicultura han provocado un descenso de las poblaciones de abejas sin aguijón en algunos lugares hasta alcanzar niveles críticos (Villanueva Gutiérrez *et al.*, 2005).

El principal factor responsable de la pérdida de mariposas monarca parece ser la destrucción del hábitat, aunque el uso de plaguicidas y diversos factores climáticos también podrían contribuir a tal efecto (Thogmartin *et al.*, 2017). Factores de declive similares parecen incidir en las poblaciones

orientales y occidentales de mariposa monarca (Pelton *et al.*, 2019; Thogmartin *et al.*, 2017; USFWS, 2020). Un importante desafío, y al mismo tiempo una gran oportunidad, para la investigación y la conservación de la mariposa monarca reside en su larga ruta migratoria: la población oriental hiberna en México y se reproduce en Estados Unidos y Canadá, motivo por el cual, la pérdida de hábitat y de plantas nectaríferas en cualquiera de los tres países contribuye a su declive (de hecho, es probable que los descensos cuantificados a la fecha obedezcan a cambios ambientales a lo largo de toda la ruta migratoria de la mariposa [Inamine *et al.*, 2016]); sin embargo, cualquier iniciativa de restauración que se lleve a cabo a lo largo de su ruta migratoria y de reproducción puede beneficiar no sólo a la monarca, sino también a otras especies polinizadoras.

Como ya se ha señalado, las colonias de *Apis mellifera* han disminuido en todo el subcontinente y las causas propuestas son muy diversas, con complejas interacciones entre sí, como lo han puesto de manifiesto investigaciones recientes. La exposición simultánea a los plaguicidas neonicotinoides y a los ácaros parásitos *Varroa destructor*, por ejemplo, reduce la supervivencia de los especímenes de abejas melíferas en fase de hibernación (Straub *et al.*, 2019). En distintos periodos se han registrado índices elevados del fenómeno de colapso de las colonias siguiendo un patrón clásico de brote de la enfermedad, aunque ocurre también que dicho trastorno puede aumentar y disminuir como resultado de una combinación de factores (Nearman y van Engelsdorp, 2019). La pérdida de diversidad de recursos florales resultante lo mismo de la intensificación de la agricultura que de la reducción de la disponibilidad de espacios de hábitat natural también mengua el valor nutricional de las plantas en las que liban las abejas melíferas, lo que las vuelve más susceptibles a parásitos, enfermedades y plaguicidas (Klein *et al.*, 2017). Además, las colmenas pueden infectarse por protozoarios, amibas y ácaros, organismos capaces tanto de causar la muerte directa de las abejas como de reducir el éxito en la búsqueda de alimento y la aptitud de la colmena (Bradbear, 1988). La producción de abejas melíferas en México se ve afectada no sólo por la propagación de enfermedades y parásitos —como el ácaro *Varroa*—, sino también por la toxicidad de los plaguicidas y por el cambio climático, que provoca fenómenos meteorológicos imprevisibles y alteraciones en la distribución de las principales plantas nectaríferas. Las fuentes de mortalidad de las abejas melíferas en Ontario (Canadá) incluyen brotes del ácaro *Varroa destructor*, patógenos fúngicos *Nosema* spp. que afectan al aparato digestivo, y la bacteria *Paenibacillus larvae*, todo ello en combinación con las fluctuaciones climáticas y la exposición a plaguicidas (OMAFRA, 2018).

### 3.6 Resumen y lagunas en el conocimiento

Diversos factores de cambio afectan a los polinizadores de todos los taxones en todo tipo de hábitat: desde la pérdida de hábitat hasta la alteración de los regímenes de competencia, pasando por la reducción de fuentes nectaríferas, los efectos directos de los plaguicidas, la contaminación y las enfermedades. Aunque diversos estudios han documentado la disminución de las poblaciones de polinizadores en una amplia gama de sistemas, prevalecen profundas lagunas de conocimiento en la materia. Debido a la escasez de recursos y a la complejidad de índole jurisdiccional, los polinizadores reciben una atención limitada y se han realizado estudios solamente en una parte de sus hábitats y para apenas una porción de los taxones de polinizadores de América del Norte. Los insectos son particularmente difíciles de identificar y estudiar, por lo que se carece de información de referencia sobre una gran cantidad de especies y, por consiguiente, la capacidad para detectar de manera cuantitativa los descensos de sus poblaciones es limitada (NRC, 2007).

Más aún, los factores de cambio pueden actuar de forma sinérgica entre sí (Brook *et al.*, 2008), lo que quizá da lugar a efectos no lineales o multiplicativos; por ello, los cambios en muchas de

las poblaciones de polinizadores continúan siendo inciertos y difíciles de predecir. En resumen, los desafíos en materia de conservación compartidos por los tres países incluyen la pérdida y degradación de hábitats provocada por la expansión de la agricultura y la urbanización; la introducción de especies que compiten con los polinizadores nativos, así como de depredadores, enfermedades y parásitos; la contaminación por plaguicidas; los proyectos de aprovechamiento energético y los corredores de transporte, y el cambio climático (NRC, 2007).

### 3.7 Mensajes a destacar

- Diversos factores de cambio explican los descensos conocidos de las poblaciones de polinizadores en América del Norte, aun cuando quedan muchas preguntas sin respuesta, así como vías abiertas para seguir realizando en un futuro investigaciones y actividades de monitoreo. Destacan la pérdida y fragmentación del hábitat, modificaciones en el uso del suelo, ciertas prácticas agrícolas, especies invasoras, contaminación, plaguicidas, plagas y enfermedades, cambio climático e incendios, al igual que la interacción compuesta de los propios factores de cambio.
- La pérdida de hábitat derivada de los cambios en el uso del suelo es el factor de cambio más extendido y de mayor impacto para los polinizadores del subcontinente. En Estados Unidos, abejas no-melíferas, mariposas, murciélagos y otros polinizadores —lo mismo sujetos a manejo que silvestres— se ven afectados por la pérdida y degradación del hábitat, y existen pruebas concluyentes de que, en el caso de algunas especies, la pérdida de hábitat ha provocado el declive poblacional. Para los invertebrados de América del Norte incluidos en la Lista Roja de la UICN, la causa más común de amenaza listada es la pérdida general de hábitat, seguida de la deforestación y el cambio climático.
- La contaminación, los plaguicidas y las plagas afectan a los polinizadores nativos de manera directa, y también indirectamente mediante la disponibilidad de flores. Las especies invasoras, por su parte, también afectan a las especies nativas al competir por los recursos y propagar enfermedades y plagas.
- El cambio climático se presenta también como un factor de afectación importante. Además de tener un impacto directo sobre los polinizadores, actúa en sinergia con otros agentes de cambio. Las alteraciones en la temperatura y las precipitaciones suponen un estrés fisiológico para los polinizadores y las especies vegetales de las que obtienen néctar y polen.
- Sin embargo, persisten numerosas incógnitas. Debido a la escasez de recursos y a la complejidad que suponen las distintas jurisdicciones, sólo se han realizado estudios en una reducida parte de los hábitats y taxones de polinizadores de América del Norte. Los insectos son especialmente difíciles de identificar y estudiar, por lo que se carece de información de referencia sobre muchas especies y, por ende, la capacidad de detectar cuantitativamente los descensos de sus poblaciones es limitada. No obstante, tales cambios siguen produciéndose, quizá en sinergia unos con otros, y dan lugar a efectos no lineales o multiplicadores, por lo que sus consecuencias son difíciles de predecir.
- Entre los desafíos de conservación compartidos por los tres países se cuentan los siguientes: la pérdida y degradación de hábitats provocada por la expansión de la agricultura, la urbanización y los corredores de transporte y energía; la introducción de organismos que compiten con los polinizadores nativos, depredadores, enfermedades y parásitos; la contaminación en general y por plaguicidas, y el cambio climático. Nos encontramos ante una oportunidad para que los tres países colaboren en la resolución de estos desafíos comunes en materia de conservación.

## 4 Polinizadores: servicios ambientales y dimensiones humanas

Los polinizadores son esenciales no solamente para el funcionamiento de los ecosistemas, sino también para los servicios que éstos ofrecen a las comunidades locales. Diversos sectores y comunidades de toda América del Norte se benefician de la polinización. En ese sentido, es preciso elaborar marcos y estrategias de conservación que aborden los complejos sistemas socioecológicos, y ello exige la adopción de una perspectiva amplia que tenga en cuenta los diversos aspectos de los sistemas ecológicos, así como su intersección con las actividades humanas de aprovechamiento e interacción con ellos. Las prácticas de conservación, tradicionalmente dirigidas por las ciencias naturales, integran cada vez más a las ciencias sociales, lo que contribuye a sortear obstáculos de índole social e institucional que a menudo interfieren con la conservación. Lo que hoy se denomina “ciencias sociales de la conservación” es un enfoque que vincula las teorías, métodos y análisis clásicos de las ciencias sociales al trabajo aplicado en materia de preservación ambiental, a fin de comprender la relevancia que los fenómenos sociales tienen para la conservación a través de los procesos sociales y los atributos individuales (Bennett *et al.*, 2017).

Conscientes de los numerosos servicios ambientales y beneficios socioecológicos que proporcionan los polinizadores a las comunidades locales de la región de América del Norte, los gobiernos de Canadá, Estados Unidos y México se propusieron, en el marco del proyecto *Fortalecimiento de la conservación regional de las especies polinizadoras para asegurar sus beneficios en el ámbito local* de la CCA, promover la participación de actores e interesados directos, al tiempo de sensibilizar e impulsar un mayor conocimiento en torno a tales beneficios. En este contexto, la CCA convocó a un taller en diciembre de 2020 para explorar la incorporación de dimensiones humanas en la conservación de los polinizadores, así como las múltiples formas en que las comunidades locales interactúan con los polinizadores y los ecosistemas en los que se encuentran.

En este apartado se analiza la importancia de los polinizadores en lo referente a los servicios ambientales y los beneficios que aportan a las comunidades, y se resumen los puntos principales abordados en el taller introductorio sobre cómo las ciencias sociales y los enfoques centrados en las dimensiones humanas pueden ayudar a la conservación de estos organismos.

### 4.1 Servicios ambientales

Los servicios ambientales se definen como aquellos servicios que brindan los ecosistemas y que aportan beneficios directos y mensurables a los seres humanos (Daily, 1997; Mace *et al.*, 2012). La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) adoptó un marco de cuatro categorías de servicios ambientales, cada una de las cuales engloba un conjunto de servicios distintos: de provisión, de regulación, culturales y de apoyo (EM, 2005).

La polinización como proceso se suele incluir en la categoría de servicios de regulación, ya que resulta vital para el mantenimiento de plantas diversas y abundantes que, a su vez, contribuyen a muchos otros procesos y servicios. Como se señaló ya antes, más de 85 por ciento de las especies vegetales de todo el mundo son polinizadas por animales y dependen de las actividades de los polinizadores, o cuando menos se benefician de ellas (Ollerton, 2017). Según su morfología, tamaño y comportamiento, las especies polinizadoras abarcan una amplia diversidad de grupos funcionales, y forman complejas redes de interacción que contribuyen a maximizar la diversidad de los rasgos que presentan la flora y la fauna en un ecosistema. A su vez, las comunidades ecológicas diversas y conectadas ofrecen una serie de beneficios ambientales a las comunidades locales. Los polinizadores permiten el flujo genético entre especies vegetales, con lo que enlazan poblaciones y

facilitan o potencian la reproducción. Asimismo, los polinizadores contribuyen directamente a los servicios ambientales al polinizar los cultivos, las plantas que tradicionalmente han sido objeto de recolección y las plantas no cultivadas que proporcionan importantes recursos a los seres humanos (Vanbergen e Insects Pollinator Initiative, 2013). Un tercio de los cultivos comerciales del mundo son polinizados por animales (FAO, 2009).

La valuación de la polinización como servicio ambiental resulta compleja, pero en su cálculo pueden incluirse el valor de mercado de los cultivos que dependen de la polinización, el costo del alquiler de polinizadores objeto de manejo para la polinización comercial o los costos de sustitución de la polinización en caso de desaparición de los polinizadores —silvestres o manejados— de un sistema (Allsopp *et al.*, 2008). La plataforma IPBES ha estimado que los polinizadores proporcionan entre 235,000 y 577,000 millones de dólares estadounidenses (\$EU) en servicios ambientales agrícolas a escala mundial, con repercusiones que se extienden mucho más allá del sector agrícola, aun si son sobre todo las comunidades agrícolas las que dependen directamente de las actividades y funciones de los polinizadores (IPBES, 2016).

La diversidad de grupos funcionales de polinizadores es fundamental para mantener los servicios ambientales de los ecosistemas, sustentar diversas tareas humanas e impulsar la actividad económica en los tres países. Aun si en América del Norte la mayor parte de la superficie dedicada a cultivos se consagra a especies polinizadas por el viento, como el maíz, el trigo, el sorgo y otros cereales, a lo largo y ancho del subcontinente se encuentran actividades y procesos agrícolas que dependen de la actividad de los polinizadores, desde vastas explotaciones corporativas o industriales hasta granjas o parcelas de subsistencia, pasando por la agricultura orgánica y la denominada “gourmet” o “boutique”, la jardinería recreativa y todo tipo de actividades intermedias. Entre los cultivos importantes polinizados por animales figuran los árboles frutales; el café; los cultivos de alfalfa, soya, jitomate, papa, tabaco y algodón, y otros cultivos más intensivos en mano de obra o especializados, como los viñedos, los girasoles, ciertas frutas y las bayas o frutos del bosque.

En Canadá, la agricultura y el sector de la industria agroalimentaria dieron cuenta de 49,000 millones de dólares canadienses (\$C) del producto interno bruto en 2015 y contribuyen de manera particularmente importante a las economías de Ontario, Quebec, Alberta y Saskatchewan (Statistics Canada, 2019). La producción agropecuaria a gran escala comprende las explotaciones ganaderas y los cultivos de trigo y otros cereales, así como de semillas oleaginosas, que no dependen directamente de los polinizadores (Everitt *et al.*, 1996). Sin embargo, las especies polinizadoras son esenciales para cultivos que ocupan alrededor de 13 por ciento de la superficie cultivada en Canadá, algunos de los cuales se destinan como alimento a la ganadería, que a su vez aporta alrededor de la mitad del suministro alimentario del país (Richards y Kevan, 2002). La agricultura en Canadá comprende una gran diversidad de cultivos dependientes de los polinizadores, sembrados a lo largo y ancho del país, aunque sobre todo concentrados en las latitudes meridionales, donde la luz solar es más abundante y las temperaturas más elevadas. La canola —oleaginosa que sí depende de los polinizadores (ABMI, 2018)— es el cultivo más valioso de Canadá: fue el que más contribuyó al PIB canadiense en 2015, alcanzando los \$C4,600 millones (Statistics Canada, 2019). Canadá ocupa el primer lugar en el mundo en producción de canola y el segundo en producción de moras azules, también dependientes de la polinización (Agriculture and Agro-Food Canada, 2014).

Por consiguiente, resulta clara la importancia económica que la agricultura polinizada por abejas tiene en Canadá (Richards y Kevan, 2002), donde la polinización realizada por las abejas melíferas está valorada en \$C2,000 millones (Agriculture and Agri-Food Canada, 2014). La apicultura es en sí misma una importante industria agrícola en Canadá, no solamente por la producción de miel y otros

productos derivados de la colmena, sino también por la prestación de valiosos servicios de polinización para la producción tanto de árboles frutales, bayas, hortalizas y forraje, como de semillas híbridas de canola. La contribución económica total de la polinización de las abejas melíferas (como valor directo adicional de las cosechas) fue de unos \$C2,570 millones anuales en 2017, estimación que asciende a entre \$C4,000 y 5,500 millones anuales si se incluye la producción de canola (Agriculture and Agri-Food Canada, 2019). Asimismo, más de 500 especies de abejas nativas en Canadá, al igual que otros polinizadores que no son abejas, proveen servicios de polinización adicionales (Richards y Kevan, 2002). La producción “boutique” o recreativa de cultivos dependientes de los polinizadores también se considera importante, ya sea en forma de pequeños emprendimientos comerciales o bien como jardines y hortalizas particulares o de carácter colectivo y otros esquemas sin fines de lucro.

En Estados Unidos, de acuerdo con datos del Departamento de Agricultura (USDA, 2020), más de un centenar de cultivos dependen de los polinizadores y el ingreso o valor añadido a la producción agrícola derivado de los polinizadores se valúa en \$EU18,000 millones. El valor total anual de los productos y servicios obtenidos de las abejas melíferas y objeto de comercio asciende a alrededor de \$EU700 millones (USDA, 2020). En cifras de 2009, las plantas del sector agrícola polinizadas por animales se valoraron en \$EU71,900 millones (Calderone, 2012); de ese total, \$EU17,100 millones son atribuibles a la abeja melífera manejada, en tanto que el resto se atribuye a otros insectos polinizadores, incluidas lo mismo especies manejadas que silvestres (Calderone, 2012). El valor aumenta cuando se incluye la totalidad de la contribución de los polinizadores a los servicios y funciones de los ecosistemas, como la salud y productividad de las tierras de pastoreo y ganadería, la retención de suelo y agua y el secuestro de carbono. Los valores de mercado se refieren tanto a los cultivos que dependen directamente de los polinizadores, sobre todo frutas y nueces o frutos secos, como a otros que dependen de manera indirecta pues se cultivan a partir de semillas producidas mediante polinización animal (por ejemplo, las hortalizas).

En las regiones del medio oeste, noroeste y sureste de Estados Unidos se cultiva la canola, que depende de los polinizadores. Asimismo, cabe precisar que los pastizales constituyen 31 por ciento de la superficie terrestre del país (Havstad *et al.*, 2009) y que la industria ganadera aportó \$EU391,000 millones a la economía estadounidense en 2021 (USDA, 2021b). Un componente fundamental de la diversidad de las tierras de pastoreo es la comunidad de especies polinizadoras. Aunque el viento se encarga de polinizar las gramíneas forrajeras, los polinizadores mantienen la biodiversidad de los pastizales al impulsar la reproducción de especies herbáceas distintas de pastos que retienen el suelo, sustentan la vida silvestre y a menudo sirven como especies forrajeras complementarias (Gilgert y Vaughan, 2011).

Al igual que el resto del subcontinente, México alberga una importante industria agrícola, pero también presenta una diversidad particularmente elevada de cultivos que dependen de los animales polinizadores: 236 de los 316 cultivos producidos en el país son para consumo humano, y los animales polinizan 85 por ciento de las plantas destinadas a la producción de frutos o semillas comestibles (Ashworth *et al.*, 2009). Dependientes de la polinización animal, el aguacate, el jitomate y el café figuran entre las diez principales exportaciones agrícolas del país (Rhoda y Burton, 2010). Los cultivos de polinización animal alcanzan un rendimiento mucho mayor por volumen y aportan el doble de remuneración por hectárea que los cultivos de polinización no animal (Ashworth *et al.*, 2009), lo que resalta la importancia de estas variedades agrícolas para los ingresos y la subsistencia de los agricultores mexicanos. El creciente interés en los polinizadores de estos cultivos ha dado lugar a más y más investigaciones; no obstante, persisten profundas lagunas de conocimiento (Castañeda Vildózola *et al.*, 1999; Villegas *et al.*, 2000).

El aprovechamiento humano de las plantas que dependen de los polinizadores va mucho más allá de los cultivos agrícolas comercializados. En México viven 58 grupos indígenas que hablan 291 lenguas, y en estudios etnobotánicos se han identificado más de 7,000 plantas nativas con usos humanos (Casas y Parra, 2007). Además, el país cuenta con una elevada proporción de agricultura de subsistencia y pequeñas comunidades agrícolas; la mitad de la población rural trabaja en el campo y cerca de tres cuartas partes de las explotaciones son más bien pequeñas (UNCTAD, 2014). Si bien los ingresos agrícolas de los pequeños agricultores han disminuido en las últimas décadas (UNCTAD, 2014), el cultivo de la tierra sigue siendo una parte importante del tejido económico del México rural, al tiempo que contribuye a la seguridad alimentaria.

Aun cuando en muchas comunidades agrícolas se introducen y se mantienen polinizadores manejados, como las abejas melíferas, lo cierto es que las especies silvestres también interactúan con los cultivos (lo mismo plantas autóctonas que alóctonas) y pueden transferir tanto o más polen que las abejas melíferas. Como se ha señalado, los polinizadores silvestres abarcan diversos taxones —abejas, mariposas y polillas, moscas, colibríes, murciélagos y otros—, por lo que interactúan con una gran variedad de cultivos. Las abejas silvestres, por ejemplo, polinizan algunos cultivos clave, como los chiles (Landaverde González *et al.*, 2017), la jatrofa —(*Jatropha curcas*), utilizada como biocombustible— (Romero y Quezada Euán, 2013) y diversos cultivos de calabaza (Pinkus Rendón *et al.*, 2005). La actividad de los polinizadores silvestres es fundamental para la reproducción de numerosos cultivos y especies de plantas nativas, y el manejo de la polinización por parte de abejas silvestres, moscas y polillas resulta prometedor para la agricultura. Por ejemplo, cuando aumentaron las poblaciones de abejas silvestres en los campos de canola en Canadá se registró un aumento de la producción de semillas (Morandin y Winston, 2005); asimismo, la polinización de abejas silvestres ha aumentado la producción de frutos en el cultivo de fresa, en comparación con la polinización de *Apis mellifera* (MacInnis y Forrest, 2019). Estos y otros hallazgos similares han motivado la investigación de mecanismos para aumentar las poblaciones de abejas silvestres y su diversidad en sistemas agrícolas de todo Canadá (Brook *et al.*, 2008b; Moisan DeSerres *et al.*, 2015; McKechnie *et al.*, 2017; Sheffield *et al.*, 2008).

Los polinizadores aparecen en la narrativa, arte, artesanía y tradiciones indígenas de los tres países. En su tradición, las comunidades originarias reconocen la importancia de las interacciones de los polinizadores con las plantas nativas que suministran alimentos, medicinas, fibras y tintes. Además, la migración, aparición y actividad de los polinizadores son importantes acontecimientos estacionales que ayudan a indicar cambios cíclicos anuales. Las prácticas agrícolas indígenas dependen de la diversidad y abundancia de polinizadores nativos, lo que pone de relieve la importancia de estos animales para la diversidad y riqueza cultural de América del Norte. Los antiguos mayas comenzaron a manejar las abejas *Melipona* nativas desde hace casi 2,000 años, como elemento central para sustentar la agricultura en sus comunidades (Nakao, 2017). Desde tiempos ancestrales, los mayas de México practicaban una agricultura en la que se entremezclan árboles, arbustos y diversos cultivos alimentarios tapizantes, de modo que en una unidad o área agrícola se obtienen productos alimentarios, medicinas y productos ceremoniales (Nakao, 2017). Esta práctica —conocida como “solar maya”— se conserva aún en muchas comunidades de la península de Yucatán hoy en día. En muchos lugares de México, los huertos domésticos son una fuente común de alimentos para el autosustento de las familias indígenas y no indígenas por igual (Nakao, 2017). El hecho de preservar las especies polinizadoras nativas es un elemento esencial para la protección del patrimonio cultural en los tres países; al mismo tiempo, las iniciativas de conservación y manejo de los polinizadores en toda la región pueden beneficiarse enormemente del conocimiento ecológico tradicional (Kennedy y Arghiris, 2019; Wyllie de Echeverría y Thornton, 2019).



Una nueva tendencia en América del Norte consiste en crear jardines comunitarios para polinizadores, conservar espacios con flores silvestres y ajardinar lugares públicos con plantas floríferas autóctonas. Esto contrasta con prácticas pasadas en que las áreas verdes de zonas urbanizadas se cubrían principalmente con céspedes cuidados y plantas ornamentales introducidas. Este cambio es indicio de un mayor sentido del valor de los polinizadores en el ámbito comunitario de todo el subcontinente.

Ahora bien, resulta fundamental entender cómo interactúan las comunidades locales con los polinizadores a fin de poder formular las medidas de conservación correspondientes. Las comunidades locales tienen capacidad para influir en la disponibilidad de recursos para los polinizadores en el paisaje; la conectividad de hábitats propicios para los polinizadores a lo largo de sus rutas migratorias; la prevalencia [e idealmente eliminación] de amenazas como los plaguicidas; la competencia con polinizadores no-nativos manejados, y el aprovechamiento directo de especies polinizadoras, así como en la probabilidad de que se lleven a cabo iniciativas de mitigación como actividades de restauración de hábitats, cambios hacia técnicas agrícolas no convencionales y sustitución o eliminación de especies alóctonas. Asimismo, pueden ejercer presión social y hacer que los actores y partes involucradas rindan cuentas cuando no se siguen las mejores prácticas de manejo.

## 4.2 Ciencias sociales y dimensiones humanas en la conservación: perspectivas de América del Norte

Los fundamentos conceptuales y teóricos de las ciencias sociales, así como la consideración de dimensiones humanas, pueden apoyar la conservación de los polinizadores al esclarecer las causas y complejidades de los desafíos de conservación; facilitar la interacción con los grupos de interés y la participación comprometida de actores e interesados directos; ampliar nuestra comprensión acerca de los comportamientos favorables a la conservación, y mejorar los procesos gubernamentales y de gestión (Hall y Martins, 2020). Puesto que la conservación entraña resolver problemas, el proceso clásico para lograrla consiste en definir una estrategia concreta, con objetivos claros de conservación; en ese sentido, la incorporación de un enfoque social y de experiencia en materia de dimensiones humanas puede ayudar a identificar y establecer vínculos entre los factores sociales y los resultados biológicos.

El concepto de “dimensiones humanas” puede entenderse como una combinación de personas, procesos e instituciones que influyen en la forma en que la sociedad mide el éxito y el fracaso, y cómo se adapta en función de ello. Diferentes instituciones considerarán distintos resultados como exitosos. Así, entre los elementos o principios básicos para incorporar las dimensiones humanas en la labor de conservación figuran la participación de científicos sociales; el establecimiento de relaciones con las poblaciones locales; el conocimiento de las distintas culturas; la búsqueda de factores de cambio e influencias menos obvios; el aprendizaje continuo, y la adaptación al cambio.

Especialistas en la materia de América del Norte se reunieron en diciembre de 2020 para celebrar un taller virtual en torno a la incorporación y aplicación de dimensiones humanas a la conservación de los polinizadores. De esta reunión surgieron las siguientes perspectivas e ideas, basadas en las opiniones intercambiadas.

Si la colaboración y el trabajo conjunto entrañan una complejidad enorme al interior de un mismo país, ello se acentúa cuando se trata de varios países, en cuyo caso hay que tomar en cuenta, además, las diferencias entre un país y otro. Con todo, pueden identificarse conceptos amplios y abstractos

que adquirirán pertinencia a escala local cuando se pongan en práctica, de manera que se vincularán grandes ideas con implementación en el plano local, independientemente del país de que se trate. Las ciencias sociales no dan respuestas únicas, pero sí ayudan a reflexionar sobre las opciones que se ofrecen y a conectar las dimensiones humanas con los resultados biológicos, lo que nos permitirá comprender con mayor claridad los problemas y encontrar vías de solución.

Un entendimiento cabal del elemento humano ha de incluir percepciones, actitudes y comportamientos de la gente. Un mismo desafío se manifestará de forma diferente en distintos grupos sociales; por consiguiente, hay que tener en cuenta el papel de las personas. Es importante llegar al mayor número posible de personas —lo mismo las menos influyentes, que quienes ejercen más influencia— en relación con un problema concreto; por ejemplo, en algunas regiones, los habitantes de zonas rurales pueden tener menos influencia sobre las políticas o los recursos que los habitantes de zonas urbanas, pero en cambio probablemente tengan conocimientos sobre la dinámica o la diversidad de los polinizadores que podrían servir de base para planificar con eficacia medidas de conservación. Otro enfoque importante son la experiencia y los conocimientos específicos que la gente en las comunidades locales acumula a lo largo de los años o a través de generaciones — por ejemplo, sobre el modo en que algunas prácticas afectan al medio ambiente—, saber que puede servir para orientar acciones en favor de la conservación de los polinizadores.

Los procesos de conservación han de incluir, idealmente, estrategias de participación activa con miras a promover la formación de capital social y la creación de un espacio equitativo para todas las voces en el que puedan implementarse una planificación estratégica y actividades de anticipación, respuesta, colaboración y aprendizaje. Las instituciones —las estructuras y normas que rigen las relaciones sociales, políticas y económicas— desempeñan un papel importante en la configuración de las conductas (y en la comprensión de las mismas), así como también en lo que respecta a entender y abordar las dinámicas de poder. Las instituciones pueden incluir normas informales y formales: las primeras se componen de costumbres y de preceptos o expectativas culturales, y pueden revestir especial importancia en las comunidades rurales o indígenas. Las reglas formales, por su parte, incluyen las leyes y los derechos de propiedad —por ejemplo, la tenencia de la tierra, que dicta qué recursos es posible utilizar, durante cuánto tiempo y bajo qué condiciones, y cómo se transfieren los derechos—; asimismo, influyen en la determinación de quién puede quedar excluido de los recursos, y también de quién participa en la definición de las propias reglas. Para propósitos de conservación, los términos “titulares de derechos” o “titulares de responsabilidades” —es decir, las personas y organizaciones facultadas para tomar decisiones relacionadas con un objetivo de conservación— son preferibles a “actores o sectores de interés”, ya que representan con mayor precisión a las personas implicadas en la cuestión central.

Las escalas y jerarquías también son importantes. Para ser eficaces, los esfuerzos de conservación han de prolongarse más allá de cualquier proyecto concreto, y las redes y relaciones deben ser duraderas. Si bien puede resultar difícil crear y mantener relaciones y redes a largo plazo para la conservación de los polinizadores en América del Norte, debido a la extensa geografía de la región y a la naturaleza espacialmente difusa que entrañan las tareas de conservación de polinizadores, sin dejar de lado la dificultad que supone trasladar las relaciones locales a una escala subcontinental de eficacia, una ventaja es que existen ya numerosos grupos dedicados a dicha labor que pueden aprovecharse en lugar de sustituirse (véanse algunos ejemplos en el apéndice 2), y las coaliciones entre iniciativas ya en marcha ofrecen una vía prometedora. Para que la creación de coaliciones resulte fructífera, es esencial contar con una visión clara, específica y compartida, ya que los esfuerzos participativos fracasan cuando no se cumplen las expectativas. Es importante contar con un espacio delimitado que permita la construcción de una perspectiva común, es decir, un espacio

en el que puedan tener lugar la definición de una visión compartida, procesos de lluvia de ideas y la generación de propuestas bien definidas y de base. Tal vez los ingredientes más importantes para lograr el éxito sean una combinación de coaliciones novedosas y sólidas, así como avances en los ámbitos social, ecológico y biológico.

Existen algunas herramientas y métodos de utilidad para integrar las dimensiones humanas en la labor de conservación. Para lograr un propósito común en materia de preservación de polinizadores, será fundamental no solamente identificar al público objetivo y definir el alcance de la labor, sino también encontrar un marco que resulte convincente en términos generales (por ejemplo, los sistemas y la seguridad alimentarios). Por ello, el trabajo futuro deberá centrarse en definir “hilos conductores” (elementos o temas comunes o coherentes que se exponen en los mensajes, eventos y estrategias que componen una campaña o iniciativa de conservación) que puedan introducirse a escala subcontinental para promover la conservación de los polinizadores de forma cohesionada y eficaz. Asimismo, si se quiere garantizar que la gente se sienta incluida, es importante identificar las barreras que impiden cambiar la percepción ciudadana, así como reconocer las múltiples perspectivas y necesidades de las diferentes partes interesadas, y abordarlas en mensajes específicos. Por ejemplo, en el caso de la conservación de la mariposa monarca, se identificaron los resultados sociales deseados, así como las técnicas de evaluación de los proyectos, lo que permitió ampliar la conversación hacia una comprensión más holística del problema y ayudó a centrar la atención en las cuestiones biológicas.

Los actores e interesados directos son las personas y organizaciones que participan en la conservación de los polinizadores en cada país y que —como titulares de derechos— tienen un interés en el resultado de las iniciativas y acciones de conservación. Entender qué actores están a bordo, y cuáles no, facilita un punto de vista diferente sobre el tema. El “poder sobre” (la capacidad de persuadir a otros a hacer algo) frente al “poder para” (la capacidad de hacer algo) y el “poder con” (la capacidad de un grupo para hacer algo colectivamente) son consideraciones importantes con respecto a las personas y actores que dialogan e intercambian puntos de vista y los que no. Cada uno de los tres países cuenta con diversos actores y grupos de interés, razón por la cual resulta difícil trazar un mapa de participantes a escala trinacional, y, por ello, para cada intervención recomendada será necesario identificar un nuevo conjunto de actores y entidades impactadas. Resultará de suma utilidad dividir el proceso en etapas, en función del grado de conexión e intervención necesario (por ejemplo, en el caso de algunas partes interesadas puede bastar con intercambiar información, mientras que para otras tal vez convenga solicitar su participación activa). Una vez más, identificar los “hilos conductores” y los mensajes que resuenen en todos los ámbitos será fundamental para obtener resultados satisfactorios.

En Canadá, las partes interesadas son, entre otras, entidades gubernamentales como el ministerio de Agricultura y Agroindustria (*Agriculture and Agri-Food Canada*), el ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático (*Environment and Climate Change Canada*) y el ministerio de Salud (*Health Canada*), así como otros organismos federales y provinciales responsables de la gestión de la vida silvestre y las especies en riesgo de extinción; el sector agrícola; las comunidades indígenas; los productores comerciales de miel; entidades industriales, como los productores de plaguicidas, y el público en general. Otros grupos de interés canadienses son investigadores y académicos involucrados en la conservación de los polinizadores; administradores de corredores de transporte y de energía municipales y provinciales, así como empresas estatales y privadas que los operan, y múltiples organizaciones no gubernamentales, como la Pollinator Partnership Canada, el Insectario de Montreal (*Montreal Insectarium*) y la Federación Canadiense de Vida Silvestre (*Canadian Wildlife Federation*).

En Estados Unidos, los grupos de interés comprenden, entre otros: organismos federales como el Servicio de Pesca y Vida Silvestre (*United States Fish and Wildlife Service, USFWS*), el Servicio Geológico (*United States Geological Survey, USGS*) y el Departamento de Agricultura (*United States Department of Agriculture, USDA*); organismos estatales de manejo de recursos, y diversas ONG, como la Pollinator Partnership, la Sociedad Xerces para la Conservación de Invertebrados (*Xerces Society for Invertebrate Conservation*), numerosas instituciones académicas, la Monarch Joint Venture y la Campaña de América del Norte para la Protección de los Polinizadores (*North American Pollinator Protection Campaign*).

En México, los actores e interesados directos son, entre otros, pequeños productores de comunidades indígenas; apicultores de especies nativas y gobiernos locales que promueven la protección de los polinizadores; las industrias agrícola y forestal; los productores de miel; las empresas productoras de plaguicidas y organismos genéticamente modificados, así como algunas industrias involucradas en la protección de los polinizadores como forma de filantropía ambiental. En el ámbito federal, la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (Sader) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) son los organismos encargados de la Estrategia Nacional para la Conservación y Uso Sustentable de los Polinizadores, con participación de otras dependencias como el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica), el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt). El gremio académico y las ONG conservacionistas y promotoras del desarrollo sustentable son, asimismo, importantes actores en México.

Tener en cuenta principios transdisciplinarios puede resultar conveniente a efecto de subsanar las deficiencias en el conocimiento y facilitar el diálogo interdisciplinario e intersectorial. La *transdisciplinariedad* se produce cuando los actores e interesados directos trabajan juntos en la resolución de un problema, con atención centrada en el problema en cuestión y sin identificarse a sí mismos con etiquetas, del tipo “científico social”, “ecologista” o “agroindustrial”. En un enfoque transdisciplinario, por el contrario, se dejan de lado esas calificaciones y afiliaciones, y se aúnan esfuerzos para aportar conocimiento, experiencia y distintos sistemas de conocimiento que contribuyen a resolver el problema; se reconoce cómo y por qué se siente y piensa de determinada forma, para comprender de dónde proviene cada persona, conocer las raíces de posibles conflictos y superarlos.

El concepto del “bien común” —explorado en la literatura de las ciencias sociales— sería un ejemplo puntual de pertinencia en el ámbito de la conservación de los polinizadores, con énfasis en la seguridad alimentaria, por ejemplo. Una de las principales ventajas del marco del “bien común” radica en que coordina a los actores en beneficio de la comunidad y no de los intereses individuales, y ofrece una visión en la que caben todas las partes interesadas. Se ha investigado y escrito mucho en torno al bien común, con un enfoque centrado en contextos aplicados. Por cuanto concierne a la conservación de los polinizadores, se trata de una visión con un gran potencial para reunir a personas con necesidades y perspectivas diversas, ya que los servicios que prestan los polinizadores son algo que los ciudadanos pueden comprender y aceptar con relativa facilidad, además de que se relacionan con su derecho a la seguridad alimentaria. Considerada como un derecho humano básico (véase el artículo 25 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos), la seguridad alimentaria contribuiría a reformular la problemática desde la perspectiva de las políticas públicas, lo que, a su vez, permitiría orientar la futura definición de políticas y la configuración de soluciones. Las ciencias sociales permiten sustraer estas cuestiones de la esfera privada y llevarlas al espacio público, lo cual supone un giro esencial para orientar una política pública que pueda servir al bien común.

### 4.3 Resumen y lagunas en el conocimiento

La acción de los polinizadores en la vegetación sustenta la función de los ecosistemas y, por al contribuye a todos los servicios ambientales, lo que a su vez beneficia a las comunidades locales. En específico, los polinizadores sustentan la agricultura y la existencia de especies y comunidades vegetales de importancia cultural, además de contribuir con sus funciones al sustento del ecoturismo y de actividades recreativas, por lo que desempeñan una función primordial en las economías e identidades culturales de las comunidades locales. Se desconoce en qué medida se verán afectados los servicios ambientales como resultado de las fluctuaciones en las comunidades de polinizadores y los cambios en las agrupaciones de especies. Si los servicios brindados al ecosistema resultan similares en su conjunto, los cambios en las densidades relativas de las especies polinizadoras pueden tener poco impacto en las comunidades vegetales y sus funciones; sin embargo, en los casos en que los servicios de los polinizadores no coincidan, la pérdida o disminución de ciertas especies puede alterar fundamentalmente la eficacia de la polinización y, con ello, afectar a la propia comunidad vegetal.

La CCA se propone detectar necesidades y desafíos comunes en materia de conservación de los polinizadores que puedan abordarse y ampliarse a escala regional. El hecho de integrar perspectivas de las ciencias sociales en los procesos e iniciativas de conservación ayudaría a encontrar soluciones a problemas complejos, aunque la escasez de científicos sociales en la plantilla de las dependencias dedicadas a la conservación significa que siguen existiendo lagunas en el conocimiento y barreras por cuanto a capacidad.

### 4.4 Mensajes a destacar

- Los polinizadores son vitales tanto para el funcionamiento de los ecosistemas como para los servicios que éstos ofrecen a las comunidades locales. A efecto de formular marcos y estrategias de conservación que atiendan la complejidad de los sistemas socioecológicos, es preciso adoptar una perspectiva amplia que tenga en cuenta los diversos aspectos de los sistemas ecológicos, así como su intersección con las actividades humanas de aprovechamiento e interacción con ellos.
- La polinización es un servicio ambiental de primer orden y los polinizadores contribuyen en gran medida a la agricultura de los tres países y a la seguridad alimentaria en general.
- Se reconoce que la conservación requiere algo más que ciencias naturales: con la aportación de las ciencias sociales podrán esclarecerse las causas y complejidades de los desafíos para su logro, lo que a su vez impulsará el éxito de las actividades en este campo; facilitará la participación comprometida de actores y la interacción con los grupos de interés; permitirá una mejor comprensión de los comportamientos de la gente y su relación con la conservación, y mejorará los procesos gubernamentales y de gestión.
- La incorporación de dimensiones humanas en la conservación permite conjugar personas, procesos e instituciones, y considerar su influencia en la forma en que la sociedad mide el éxito y el fracaso de las iniciativas, y cómo se adapta en función de ello (es importante tener presente que diferentes instituciones considerarán distintos resultados como exitosos). Los elementos o principios clave para incorporar las dimensiones humanas en la labor de conservación consisten en: contar con la participación de científicos sociales; entablar relaciones con las poblaciones locales; conocer las distintas culturas; buscar los factores de cambio e influencias de menor obviedad; aprender continuamente, y adaptarse al cambio. Puesto que la conservación entraña resolver problemas, el proceso clásico para lograrla

consiste en definir una estrategia concreta, con objetivos claros de conservación; en ese sentido, la incorporación de un enfoque social y de experiencia en materia de dimensiones humanas puede ayudar a identificar y establecer vínculos entre los factores sociales y los resultados biológicos.

- Si la colaboración y el trabajo conjunto entrañan una complejidad enorme al interior de un mismo país, ello se acentúa cuando se extiende a todo el subcontinente. Será fundamental no solamente identificar al público objetivo y definir el alcance de la labor, sino también encontrar un marco que resulte convincente en términos generales (por ejemplo, los sistemas y la seguridad alimentarios). El trabajo futuro habrá de centrarse en determinar los hilos conductores o temas comunes que se exponen en los mensajes, eventos y estrategias que componen una campaña o iniciativa de conservación, y que puedan introducirse a escala regional para promover la conservación de los polinizadores de forma cohesionada y eficaz. Asimismo, si se quiere garantizar que la gente se sienta incluida, es importante identificar las barreras que impiden cambiar la percepción ciudadana, así como reconocer las múltiples perspectivas y necesidades de las diferentes partes interesadas, y abordarlas en mensajes específicos.

## **5 Conclusiones y recomendaciones**

La preocupación por los polinizadores es una cuestión de alcance mundial: en una gran diversidad de contextos internacionales y nacionales se han llevado a cabo acciones de conservación y se han realizado informes similares al presente. A la luz de las conclusiones del informe de la plataforma IPBES, múltiples investigadores han formulado una serie de recomendaciones de política que incluyen: una mayor regulación de los plaguicidas y los cultivos modificados genéticamente; una menor dependencia de los polinizadores manejados que pueden actuar como competidores y fuentes de enfermedades para las poblaciones silvestres; una mayor integración de principios ecológicos en el cultivo de productos agrícolas para elevar la calidad del hábitat de las especies polinizadoras en el ámbito agrícola; una mayor integración de las ciencias sociales y las humanidades en la puesta en práctica de medidas de conservación de los polinizadores; la creación y distribución de refugios a lo largo y ancho del paisaje para ampliar y estabilizar la prestación de servicios ambientales; una mayor disponibilidad de hábitats para polinizadores en las zonas urbanas, y un aumento de las actividades de monitoreo e investigación de las especies polinizadoras (Dicks *et al.*, 2016; Jia *et al.*, 2018; Vadrot *et al.*, 2018).

Los polinizadores ofrecen una oportunidad puntera para la conservación en América del Norte, en la que pueden emprenderse acciones significativas a casi cualquier escala, en prácticamente cualquier localidad o comunidad. Las posibilidades para abordar y revertir las causas del declive poblacional de los polinizadores son muy diversas y entrañan múltiples facetas: desde innovadoras iniciativas de colaboración de alcance subcontinental hasta asociaciones entre los sectores público y privado, pasando por acciones individuales a pequeña escala en los jardines o patios domésticos. Las estrategias que vinculan estas escalas y sectores pueden no solamente ayudar a las especies de polinizadores en peligro de extinción, sino también, al mismo tiempo, conectar a más personas con la naturaleza; garantizar las funciones básicas de los ecosistemas, y mitigar los riesgos futuros para los sistemas alimentarios. La planificación de la conservación de los polinizadores debe ser amplia en términos espaciales y temporales, así como abarcar diversos hábitats, ecosistemas y taxones. Por ello, la coordinación de la planificación y las acciones en y entre países, jurisdicciones, organismos y grupos de interés deviene fundamental. La unión de todas las partes interesadas en

torno a esta misión compartida debe basarse en los lazos de cooperación ya establecidos a efecto de garantizar un futuro sustentable a todas las especies de polinizadores, así como a la vegetación, las personas y el planeta que dependen de estos seres vivos de importancia crucial. Y, para favorecer la colaboración y evitar la confusión, se requieren mensajes adecuados y un eficiente intercambio de información.

La conservación de los polinizadores en América del Norte requerirá acciones trinacionales en las que participe un amplio abanico de instituciones, organizaciones y personas. A continuación se describen las prioridades identificadas respecto al trabajo conjunto a realizar en América del Norte, a partir de las ciencias biológicas y las prácticas necesarias para ampliar el conocimiento en torno a la diversidad de los polinizadores, sus tendencias poblacionales y los factores de cambio. También se plantean recomendaciones encaminadas a aumentar la integración de las dimensiones humanas y las ciencias sociales en las prácticas de conservación de los polinizadores. Estas áreas prioritarias y recomendaciones requerirán fondos, flujo de información y dirección, y para implementarlas será necesaria la participación y colaboración de muchos actores y sectores de la sociedad en los tres países.

## 5.1 Prioridades en materia de colaboración en América del Norte

El trabajo de colaboración realizado como parte del proyecto de la CCA, que incluyó la reunión de especialistas celebrada en la ciudad de Oaxaca (México) en febrero de 2020 y el taller virtual de diciembre de 2020, junto con los hallazgos del estudio realizado y resultados plasmados en los apartados anteriores de este informe, evidencian una serie de lagunas en el conocimiento cuya atención convendría priorizar, así como numerosas áreas que podrían beneficiarse sustancialmente de esfuerzos centrados e iniciativas de colaboración bien delimitadas en toda la región. Las posibles acciones encaminadas a promover la colaboración regional en favor de la conservación de los polinizadores comprenden las siguientes:

- **Dar prioridad a la investigación y el monitoreo**

Contar con datos de monitoreo a largo plazo resulta imprescindible a efecto de diseñar programas de conservación de polinizadores que efectivamente respondan a los cambios poblacionales por taxones, regiones y factores de cambio. La conservación de los polinizadores en América del Norte debe dar prioridad a la investigación y el monitoreo colaborativos. Es importante que los tres países elaboren programas de alcance regional (subcontinental) con **metodologías estandarizadas, repositorios de datos centralizados e indicadores bien delimitados**, de modo que puedan obtenerse índices poblacionales a partir de los datos de monitoreo. Ello requerirá recursos financieros que permitan llevar a cabo investigaciones y definir pautas que faciliten a las distintas instancias participantes una adecuada colaboración con sus contrapartes de los otros países para lograr procesos de coordinación y supervisión a escala trinacional. Los temas de investigación son muy variados e incluyen los siguientes: **respuestas de los polinizadores a las especies vegetales alóctonas entre diversos taxones y ecosistemas; desplazamientos de la distribución del hábitat de los polinizadores a consecuencia del cambio climático; estudios fisiológicos y fenológicos de las respuestas tanto de los polinizadores como de la flora a las condiciones climáticas en constante cambio, y de los probables efectos de este fenómeno en las propias especies polinizadoras y en la interacción entre éstas y la flora asociada; enfermedades, plagas y vías de transmisión entre especies nativas e introducidas; exploración de nuevos métodos de muestreo e identificación, como la metacodificación de barras del ADN y el ADN ambiental (en inglés: eDNA), eficaces para subsanar las lagunas en el conocimiento de la historia natural; colaboración con las comunidades**

**locales e indígenas, y fomento del uso de datos derivados de la ciencia ciudadana o comunitaria para el monitoreo de polinizadores y plantas en los tres países.**

- **Desarrollar la capacidad científica que permita multiplicar las tareas de monitoreo a gran escala**

La identificación de las especies nativas de polinizadores —sobre todo insectos— requiere de conocimientos especializados avanzados. Un factor limitante continúa siendo el limitado número de instituciones con capacidad para procesar muestras o identificar y documentar su presencia. Es muy probable que los esfuerzos por movilizar una amplia recopilación de datos de monitoreo del estado de conservación y las tendencias poblacionales de dichas especies en áreas extensas se vean obstaculizados ante la falta de capacidad disponible para el procesamiento de tales datos. Será necesario adoptar métodos novedosos que permitan alinear a socios y aliados de los sectores gubernamental y académico, de ONG y museos, con miras a crear un canal por el que fluyan los conocimientos técnicos y una red de colaboradores capaces de identificar a los polinizadores de forma oportuna y económicamente eficiente.

- **Priorizar la protección y restauración del hábitat de los polinizadores**

Las poblaciones polinizadoras disminuyen en respuesta a la pérdida de hábitat, lo mismo si los hábitats se convierten a la agricultura u otro tipo de explotación que si sufren alteraciones por el cambio climático o se degradan por la presencia de especies invasoras. **A efecto de proteger y restaurar el hábitat de los polinizadores**, se precisa un trabajo conjunto que incluya: **establecer objetivos y estándares a observar en relación con las áreas de hábitat de polinizadores; identificar y priorizar las áreas que requieren protección y restauración; establecer prioridades respecto al uso de plantas nativas; definir y promover las mejores prácticas de manejo para la conservación de los polinizadores por parte de diversos sectores e industrias, así como implementar prácticas agrícolas como la labranza para la conservación, los cultivos de cobertura, los cercos vivos, los setos y otros mecanismos que contribuyan a la protección y creación de hábitats para los polinizadores.**

- **Optimizar la investigación en torno a los efectos de las prácticas agrícolas y del uso de plaguicidas**

Se necesita información cualitativa y cuantitativa de mayor calidad acerca de los **efectos de las distintas prácticas agrícolas y del uso de plaguicidas** (lo mismo los que existen hoy día que los de nueva aparición), así como sobre alternativas a estos productos y métodos de mitigación que satisfagan las necesidades de los agricultores y al mismo tiempo reduzcan los daños a los polinizadores. Es preciso crear mejores prácticas de manejo tanto para una **agricultura respetuosa de los polinizadores** como para el uso de plaguicidas y, sobre todo, se debe hacer un rastreo del uso de plaguicidas y llevar un registro formal que incluya especificación de concentraciones, volúmenes y frecuencias de aplicación.

- **Estudiar las repercusiones del manejo de polinizadores**

Las iniciativas de conservación de los polinizadores deben evaluar el impacto que las abejas melíferas y otras especies alóctonas sujetas a manejo tienen en los polinizadores nativos. Las estrategias integrales de conservación de especies polinizadoras en América del Norte deben contemplar medidas orientadas a **mejorar las prácticas en relación con las abejas sujetas a manejo en los paisajes agrícolas y rurales; reforzar las poblaciones y comunidades de abejas nativas en todos los tipos de hábitat y regiones, y proteger los refugios críticos de abejas nativas y sus**



**centros de riqueza y endemismo frente al cambio ambiental.** Deberán redoblarse los esfuerzos para rastrear los movimientos de abejas melíferas y otros polinizadores manejados y su explotación, a fin de facilitar el manejo de riesgos y concebir prácticas idóneas específicas para cada país en relación con los polinizadores de distintas especies sometidos a manejo.

- **Ampliar la educación y las prácticas alternativas**

La conservación de las especies polinizadoras en América del Norte debe dar prioridad a **comunicar la importancia del papel que éstas desempeñan en relación con los servicios ambientales en general, y para la seguridad alimentaria en particular, así como elaborar y poner en marcha programas comunitarios de educación sobre polinizadores y su hábitat.** La colaboración trilateral también deberá centrarse en promover y ampliar tanto los programas de ciencia ciudadana o comunitaria como las tareas de difusión dirigidas a grupos comunitarios locales, incluidas las poblaciones insuficientemente representadas, e incentivar la elaboración de guías locales y regionales para la identificación tanto de los polinizadores como de las plantas que éstos polinizan.

- **Identificar y generar incentivos y recursos**

Deben explorarse herramientas de política aplicables para impulsar la conservación de los polinizadores, como: **incentivar acciones en los sectores público y privado con dicho propósito; financiar actividades de difusión en torno a los polinizadores por parte de universidades, jardines botánicos, organizaciones conservacionistas, entidades de transferencia de conocimientos y otras fuentes de información; eliminar los desincentivos y obstáculos fiscales a las actividades de conservación de los polinizadores, y crear programas de pago por servicios ambientales (esquemas de mitigación o relacionados con los ecosistemas en el sistema de mercado) centrados en iniciativas en favor de los polinizadores.**

- **Respaldar la toma de decisiones estratégicas**

El proceso de toma de decisiones estratégicas se beneficiará de una mejor comprensión de las áreas o aspectos donde la adopción de medidas de conservación resulta más urgente, y donde los vacíos de información son más graves. Las imágenes geoespaciales de la presencia de especies polinizadoras revelan patrones y cambios geográficos a gran escala a lo largo del tiempo. Además, estas herramientas facilitan la organización de actividades de monitoreo coordinadas y promueven prácticas uniformes de manejo e intercambio de datos a través de las fronteras nacionales.

## 5.2 Recomendaciones para incorporar las dimensiones humanas a las tareas de conservación de los polinizadores

La integración deliberada de las ciencias sociales en la conservación de los polinizadores permite vincular directamente la toma de decisiones a los factores de cambio sociales, así como a las estructuras sociales con capacidad para implementar soluciones y a los comportamientos sociales que facilitarán o impedirán un avance efectivo. De este modo, se pone de manifiesto el importante papel que las dimensiones humanas pueden desempeñar en la conservación como lente a través de la cual buscar los factores de cambio e influencias menos obvios, al tiempo de facilitar mejores procesos de adaptación.

A continuación se destacan las recomendaciones emanadas de los intercambios sobre incorporación de dimensiones humanas en la conservación de los polinizadores sostenidos entre especialistas de

los tres países en el marco del proyecto de la CCA, y en particular del taller virtual celebrado en diciembre de 2020. En general, los participantes plantearon las siguientes recomendaciones:

- **Integrar las ciencias sociales en la conservación de los polinizadores**

La primera y más importante recomendación en lo que respecta a las dimensiones humanas en la conservación de especies polinizadoras es integrar las ciencias sociales en una fase temprana del proceso de planificación de la labor de conservación. **Las ciencias sociales desempeñan un papel decisivo en el éxito de las tareas e iniciativas de conservación dada su capacidad para esclarecer las causas, complejidades y consecuencias sociales de los desafíos de la conservación, así como ofrecer orientación para la interacción con los grupos de interés, facilitar una mejor comprensión de su comportamiento y contribuir a la formulación de soluciones eficaces.** Los fenómenos y procesos sociales, aunados a los atributos individuales, se encuentran plenamente integrados a los desafíos que plantea la conservación, de manera que la resolución de los problemas de conservación requiere una comprensión teórica de tales elementos sociales y su aplicación en los sistemas del mundo real.

- **Aplicar un marco del “bien común”**

La segunda recomendación es explorar más a fondo la aplicación del marco del “bien común”, toda vez que ello contribuiría al logro de objetivos comunes en materia de conservación de los polinizadores y a un mejor entendimiento entre actores e interesados pertenecientes a culturas diferentes. Un marco o modelo del *bien común* consiste en una perspectiva que destaca o privilegia lo que se comparte y beneficia a todos los integrantes de una comunidad. En lo tocante a la conservación de especies polinizadoras, este tipo de enfoque permite plantear un concepto unificador que vincule a los grupos de interés con los beneficios colectivos derivados de los polinizadores y los servicios de polinización, y reconozca la función central de estas especies en la seguridad alimentaria. **El marco del bien común puede así servir de “hilo conductor” vinculante de gran utilidad para propiciar la participación de todos los actores y sectores interesados en la conservación de los polinizadores, dada su importancia para la seguridad alimentaria.** Como bien público, la polinización está exenta o al margen de todo tipo de propiedad y, por lo mismo, elude la asignación tradicional de las responsabilidades de manejo. No obstante, puesto que se trata también de un servicio ambiental esencial para los sistemas, comunidades y prosperidad humanos, adquiere suma relevancia y pertinencia desde el punto de vista de los derechos humanos, además de ser fundamental para los objetivos globales de conservación y sustentabilidad.

- **Identificación de actores y grupos de interés**

Como tercera recomendación se propone **llevar a cabo un ejercicio exhaustivo para identificar a las partes interesadas, con el fin de facilitar el trabajo en red, el intercambio de conocimientos y la formulación de soluciones viables para la conservación de los polinizadores.** Identificar a los actores y grupos de interés en todos los sistemas sociales, económicos, políticos e institucionales de los tres países supone un desafío concreto para efectos de la conservación de especies polinizadoras a escala trinacional, ya que éstas son esenciales para la seguridad alimentaria y los servicios ambientales que afectan a todas las comunidades y ecosistemas del subcontinente. Será necesario emprender una iniciativa formalizada dirigida a identificar a las partes interesadas, con el fin de ampliar la conversación entre dichas comunidades y ecosistemas, y trabajar conjuntamente en la búsqueda de soluciones sostenibles y eficaces. Teniendo en cuenta la complejidad que supone tratar de identificar a las partes interesadas en un solo país, y que actores y grupos de interés difieren de un país a otro, se recomienda que estos ejercicios de identificación se realicen primero a escala nacional e incluso subnacional, en zonas o regiones donde proteger a los polinizadores se considere una labor prioritaria.

- **Evaluar la eficacia**

Una cuarta recomendación es incluir en las iniciativas de conservación de los polinizadores una **evaluación formal de la eficacia de las estrategias que finalmente se empleen**. Evaluar los resultados es importante no solamente para hacer posible una adaptación adecuada, sino también para garantizar que las soluciones guardan relación con los desafíos. Más aún, la conservación de los polinizadores puede servir como elemento de “validación conceptual” con el cual se demuestre el gran valor de los enfoques socioecológicos integrados en la resolución de problemas en materia de preservación ambiental, aunque todavía se requiere evaluar su eficacia.

### 5.3 Mensajes a destacar

- Los polinizadores ofrecen una oportunidad única para la conservación en América del Norte, puesto que se pueden emprender intervenciones significativas a casi cualquier escala y en prácticamente cualquier localidad o comunidad. Es necesaria una planificación de la conservación de estas especies, que sea amplia en términos espaciales y temporales, y abarque diversos hábitats, ecosistemas y taxones. Será fundamental coordinar la planificación y las acciones en y entre países, jurisdicciones, organismos y grupos de interés. Desde innovadoras iniciativas de colaboración de alcance subcontinental hasta asociaciones entre los sectores público y privado, pasando por acciones individuales a pequeña escala en los jardines o patios domésticos, las posibilidades de abordar y revertir las causas del declive poblacional de los polinizadores son muy diversas y entrañan múltiples facetas, lo que representa una enorme oportunidad.
- La conservación de los polinizadores en América del Norte requerirá acciones trinacionales en las que participe un amplio abanico de instituciones, organizaciones y personas. El presente documento identifica las prioridades en materia de colaboración entre los tres países, a partir de las ciencias biológicas y las prácticas necesarias para ampliar los conocimientos en torno a la diversidad de los polinizadores, sus tendencias poblacionales y los factores de cambio. También plantea recomendaciones encaminadas a aumentar la integración de las dimensiones humanas y las ciencias sociales en las prácticas de conservación de los polinizadores. Estas áreas prioritarias y recomendaciones requerirán fondos, flujo de información y dirección y, para implementarlas, será necesaria la participación y colaboración de muchos actores y sectores de la sociedad en los tres países.
- Las recomendaciones para futuras iniciativas de colaboración a escala de América del Norte incluyen las siguientes: 1) priorizar el monitoreo de las especies polinizadoras; 2) establecer la protección, restauración y conservación de su hábitat como tarea prioritaria; 3) investigar los efectos de las prácticas agrícolas y del uso de plaguicidas; 4) vigilar y controlar el uso de plaguicidas; 5) estudiar las repercusiones del manejo de polinizadores; 6) monitorear el comercio y las ventas de polinizadores sujetos a manejo; 6) ampliar los procesos educativos y de sensibilización, así como las prácticas alternativas, y 7) identificar y generar incentivos y recursos.
- Las recomendaciones también contemplan la necesidad de: 1) integrar las ciencias naturales y sociales en la conservación de los polinizadores; 2) aplicar el marco del *bien común*; 3) identificar a actores y grupos de interés, y 4) evaluar la eficacia de las acciones de conservación.

## 5.4 Consideraciones finales

En el contexto de América del Norte abundan las incógnitas en torno a las especies polinizadoras, sus tendencias poblacionales y los factores de cambio que las afectan, como se ha examinado y planteado en el presente informe. Con todo, resulta claro que los fundamentos ecológicos, económicos y sociales de la vida y la sociedad en esta región y en el mundo entero dependen de la polinización y de otros servicios ambientales. Por ello, resulta vital encontrar un camino que permita garantizar la conservación de los polinizadores en el subcontinente, a fin de mantener no solamente un medio ambiente sano, sino también una economía robusta. Una estrategia de alcance regional en materia de conservación de los polinizadores implicará formular políticas, generar conocimientos científicos e impulsar estrategias de manejo de manera visionaria, flexible y con amplio alcance.

La distribución de un gran número de especies polinizadoras se extiende a través de las fronteras políticas, por lo que sus poblaciones se ven afectadas por las condiciones ambientales y las actividades humanas en distintas jurisdicciones o países. Además, los polinizadores no-nativos y los plaguicidas utilizados en la agricultura cruzan las fronteras internacionales, por lo que resulta esencial implementar estrategias de manejo y conservación a gran escala. Contar con información compartida, rastrear el comercio y la venta de especies polinizadoras sujetas a manejo, disponer de datos de referencia sobre polinizadores nativos y no-nativos, y reflexionar en torno a las lecciones adquiridas son elementos todos que pueden contribuir a reducir las graves lagunas en el conocimiento: los vacíos y omisiones en la información que limitan la capacidad de toma de decisiones favorables para la conservación de los polinizadores a gran escala. Es imprescindible que los responsables de la formulación de políticas y la ciudadanía de América del Norte en su conjunto trabajen, colaboren e intercambien recursos y capacidades más allá de las fronteras para orientar y aplicar eficazmente medidas de conservación.

Este informe recoge el estado del conocimiento sobre la diversidad de los polinizadores, sus tendencias poblacionales y los factores de cambio que les afectan en América del Norte. En el mismo se resumen los intercambios sostenidos a escala regional en torno a la importancia y la necesidad de incorporar las ciencias sociales y las dimensiones humanas en las tareas de preservación. Además, se ofrecen algunas recomendaciones para abordar la conservación de los polinizadores de forma colaborativa en todo el subcontinente, y se pone de relieve el trabajo que se puede realizar con miras a coordinar y optimizar las actividades de investigación y monitoreo de las especies polinizadoras, así como algunas propuestas para integrar con mayor eficacia las dimensiones humanas en dicha labor de conservación.

## Apéndice 1. Métodos de evaluación cuantitativa

Como parte de la investigación realizada para preparar esta publicación, las investigadoras de la Universidad del Norte de Arizona reunieron la información general disponible sobre el tema de la polinización en distintas partes de América del Norte y los registros de dominio público correspondientes a polinizadores conocidos o probables (supuestos) por país, hábitat y ecorregión. Con estos datos, crearon una base de datos de géneros de supuestos polinizadores en América del Norte. Para integrar su listado de géneros, tomaron en cuenta datos de Discover Life, la Base de Datos Biosistemática de Dípteros del Mundo (*Biosystematic Database of World Diptera*), BugGuide.net y otras fuentes publicadas. En algunos casos, los géneros comprenden especies que visitan las flores y otras que no, pero a menudo ello no se sabe con certeza (no resulta clara la amplitud total de la dieta de muchas especies de invertebrados en particular). Con todo, tales géneros se incluyeron con el propósito de evaluar las zonas y hábitats de gran diversidad de polinizadores y, así, poder planificar su conservación: un enfoque conservador por el que se sobreestime dicha diversidad tiene más probabilidades de conducir a resultados de conservación positivos que una subestimación.

A continuación, a partir de registros biológicos contenidos en el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF) —repositorio internacional de datos de observación de la presencia de especies—, las investigadoras recopilieron datos correspondientes a los géneros de polinizadores listados, para lo cual desarrollaron un código de extracción utilizando la versión 3.6.2 del software R, un lenguaje de programación y entorno para computación estadística y representación gráfica (R Core Development Team, 2016). El GBIF amalgama información de diversas fuentes, entre las que se incluyen especímenes de museo y fotografías geotiquetadas de proyectos de ciencia ciudadana, y contiene más de un billón de observaciones de especies. Dados el volumen y la cobertura de las observaciones, la base de datos GBIF es un recurso ideal para obtener información sobre especies poco estudiadas, con escasa o nula representación en la literatura publicada. Utilizando el paquete “*rgbif*” (Chamberlain *et al.*, 2022), las investigadoras realizaron una búsqueda en la base de datos GBIF y eliminaron las entradas espacialmente inexactas guiándose por un protocolo estándar de limpieza de datos (R package = *CoordinateCleaner*) (Yesson *et al.*, 2007).

A efecto de evaluar la rareza, extrajeron datos sobre la distribución espacial, el número de observaciones, el horizonte temporal de observación y las especies pertenecientes a un género (es decir, datos que sirven como indicador de la diversidad taxonómica). El número y la frecuencia de las observaciones no deben interpretarse como una medición directa de la abundancia, ya que estos parámetros vinculan abundancia y “observabilidad”, sobre todo ante la falta de datos sobre el alcance de los estudios (dados los numerosos factores que afectan las observaciones, como el tamaño, la visibilidad o la tendencia a que los taxones objeto de observación y registro sean los que se encuentran cerca de poblaciones humanas). Sin embargo, ciertamente los bajos índices de presencia (pocos o escasos registros) de un taxón sirven para poner de relieve las especies que merecen una mayor investigación de su estado ecológico. Las investigadoras también utilizaron datos georreferenciados para extraer información sobre las ecorregiones y los tipos de hábitats de interés a partir de los mapas de la *CCA Ecorregiones terrestres: nivel I* (CCA, 2021) y *Cobertura del suelo, 2015* (CCA, 2015), este último integrado con datos del Sistema de Monitoreo del Cambio en la Cobertura del Suelo de América del Norte (NALCMS, por sus siglas en inglés) obtenidos por el sensor Landsat con una resolución espacial de 30 metros. Tales datos de localización permitieron examinar la presencia y distribución relativa de polinizadores, e identificar las ecorregiones y hábitats con una diversidad particularmente alta de estas especies.

Se utilizó un método de codificación similar para los polinizadores vertebrados, a partir de una lista de 228 especies de vertebrados nectarívoros conocidas en América del Norte tomada de Aslan *et al.* (2013), mismas que se consultaron en el sistema de búsqueda del GBIF. Con el código de extracción, las investigadoras obtuvieron el número, la frecuencia y el horizonte temporal de las observaciones, así como la distribución espacial, la ecorregión y el tipo de hábitat correspondiente a cada una de tales especies, entre las que se incluyen ictéridos, pícidos, tangaras, colibríes y murciélagos que se alimentan de néctar.

Además, se recurrió a la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), en su versión 3, para conocer el estado de conservación de todos los vertebrados incluidos en la base de datos creada. De alcance internacional, dicha lista recoge las aportaciones de miles de científicos por cuanto al estado de conservación de las especies que alberga y se considera la máxima autoridad al respecto. Con el consenso de especialistas en la materia, la Lista Roja de la UICN evalúa las especies de todo el mundo para asignarlas a categorías en función del grado de amenaza, a saber: “extinto”, “extinto en estado silvestre”, “en peligro crítico”, “en peligro”, “vulnerable”, “casi amenazado”, “preocupación menor” y “datos insuficientes”. Al evaluar una especie se toman en consideración el descenso de sus poblaciones o la contracción del área de distribución observada, o bien la probabilidad de que ello ocurra dadas las amenazas actuales que se ciernen sobre la especie.

Las investigadoras reunieron también una lista de las especies cuya conservación está amenazada en los tres países con el fin de examinar sus hábitats y ecorregiones y analizar los factores de cambio de mayor relevancia en esos lugares. Con base en la Lista Roja de la UICN integraron una lista inicial de once polinizadores vertebrados cuya conservación está amenazada en América del Norte y que, por lo mismo, suscitan preocupación. Aun cuando la Lista Roja de la UICN está mucho menos avanzada para los invertebrados que para los vertebrados, también se descargó de dicha lista información sobre el estado de conservación correspondiente a cada uno de los invertebrados de interés para efectos del presente estudio. Sin embargo, sólo se obtuvieron 70 registros de polinizadores invertebrados presentes en América del Norte: 40 coleópteros, 19 himenópteros y once lepidópteros; 25 de todos estos (35.7 por ciento) listados como “casi amenazados” o en estado todavía más desfavorable.

Al ser tan pocos los invertebrados evaluados en la lista de la UICN, las investigadoras también recurrieron a evaluaciones de conservación a escala nacional y estatal o provincial a fin de identificar otras especies de polinizadores cuya conservación está amenazada en América del Norte. En la esfera nacional, estas evaluaciones comprendieron los listados del Comité sobre la Situación de las Especies de Vida Silvestre en Peligro en Canadá (*Committee on the Status of Endangered Wildlife in Canada*, COSEWIC), la Ley de Especies en Peligro de Extinción (*Endangered Species Act*, ESA) de Estados Unidos y la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres*. En la esfera estatal o provincial, incluyeron los listados de las provincias canadienses (obtenidos al consultar los sitios web de los gobiernos provinciales); los listados de las entidades federativas estadounidenses (recursos extraídos de los sitios web de cada gobierno estatal, así como de los planes estatales de acción para la vida silvestre, según procediera), y, para México, las estrategias estatales para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad (véase: <[www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estrategias.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estrategias.html)>).

Una vez integrada una lista de especies de polinizadores cuya conservación está amenazada en América del Norte (a partir de las mencionadas fuentes en los ámbitos internacional, nacional y estatal o provincial), las investigadoras aplicaron el código de extracción para obtener, a partir de los registros biológicos del GBIF, datos correspondientes al número y frecuencia de las observaciones

registradas para cada especie de preocupación, al igual que su distribución espacial, ecorregión y tipo de hábitat. Luego introdujeron todos los resultados en la base de datos integrada para efectos del presente estudio, a fin de consolidar la presencia de especies amenazadas en términos espaciales y taxonómicos.

En combinación, estos métodos permitieron generar o determinar el número registros por taxón y por área geográfica, y a partir de ello examinar la diversidad conocida de especies polinizadoras y su presencia, de acuerdo con su estado de conservación, en todo el subcontinente. Gracias a la codificación desarrollada para las búsquedas (código de extracción), las investigadoras lograron determinar qué ecorregiones y tipos de hábitat son los que registran una diversidad de polinizadores particularmente elevada, con concentraciones también altas de especies polinizadoras amenazadas. Tales métodos permiten examinar el horizonte temporal a lo largo del cual se han registrado distintos taxones, a fin de identificar aquellos para los que las observaciones han disminuido con el paso del tiempo; además, brindan una visión cuantitativa de la presencia de polinizadores, basada en un inmenso conjunto de datos de registros fiables, reunidos con un riguroso control de calidad y que incluyen taxones raros o ausentes en la literatura especializada con revisión de pares. En combinación con la revisión bibliográfica sobre las tendencias de las poblaciones de las especies polinizadoras (véase el apartado 2.1), la metodología empleada aportó una perspectiva de la situación que guardan los polinizadores en América del Norte, al tiempo de sentar bases para analizar la relevancia e impacto que la actual disminución en sus poblaciones tiene por cuanto a los servicios ambientales que prestan, la biodiversidad, la agricultura y los valores socioculturales.

*Fuente:* “University of Northern Arizona Landscape Conservation Initiative”  
[Iniciativa para la Conservación del Paisaje de la Universidad del Norte de Arizona], 2021.

## Apéndice 2. Registros del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad para órdenes de insectos probablemente polinizadores en América del Norte

Cuadro 2. Registros del GBIF para órdenes de insectos presuntamente polinizadores en América del Norte

<i>Coleoptera</i>	Núm. de géneros	<i>Diptera</i>	Núm. de géneros	<i>Hemiptera</i>	Núm. de géneros	<i>Hymenoptera</i>	Núm. de géneros	<i>Lepidoptera</i>	Núm. de géneros
<i>Anthicidae</i>	2	<i>Acroceridae</i>	6	<i>Coreidae</i>	1	<i>Andrenidae</i>	13	<i>Crambidae</i>	204
<i>Bruchidae</i>	4	<i>Agromyzidae</i>	22	<i>Lygaeidae</i>	3	<i>Apidae</i>	70	<i>Erebidae</i>	2
<i>Buprestidae</i>	3	<i>Anthomyiidae</i>	30	<i>Miridae</i>	1	<i>Colletidae</i>	8	<i>Gelechiidae</i>	74
<i>Cantharidae</i>	3	<i>Apioceridae</i>	1	<i>Pentatomidae</i>	1	<i>Halictidae</i>	28	<i>Geometridae</i>	237
<i>Carabidae</i>	1	<i>Asilidae</i>	104	<i>Reduviidae</i>	3	<i>Megachilidae</i>	26	<i>Hesperiidae</i>	101
<i>Cerambycidae</i>	16	<i>Bibionidae</i>	1	<i>Rhopalidae</i>	1	<i>Melittidae</i>	3	<i>Lycaenidae</i>	42
<i>Chrysomelidae</i>	4	<i>Bombyliidae</i>	49	<i>Scutelleridae</i>	1	<i>Vespidae</i>	14	<i>Noctuidae</i>	360
<i>Cleridae</i>	1	<i>Calliphoridae</i>	19					<i>Nymphalidae</i>	61
<i>Coccinellidae</i>	4	<i>Carnidae</i>	3					<i>Papilionidae</i>	17
<i>Cucujidae</i>	2	<i>Cecidomyiidae</i>	2					<i>Papilionoidea</i>	1
<i>Curculionidae</i>	6	<i>Ceratopogonidae</i>	3					<i>Pieridae</i>	12
<i>Dasytidae</i>	1	<i>Chironomidae</i>	136					<i>Prodoxidae</i>	6
<i>Dermestidae</i>	2	<i>Chloropidae</i>	56					<i>Pterophoridae</i>	27
<i>Elateridae</i>	1	<i>Culicidae</i>	1					<i>Riodinidae</i>	6
<i>Lycidae</i>	1	<i>Dolichopodidae</i>	52					<i>Sphingidae</i>	45
<i>Meloidae</i>	3	<i>Empididae</i>	25					<i>Zygaenidae</i>	12
<i>Melyridae</i>	2	<i>Ephydriidae</i>	58						
<i>Mordellidae</i>	3	<i>Heleomyzidae</i>	21						
<i>Nitidulidae</i>	35	<i>Hybotidae</i>	26						
<i>Oedmeridae</i>	1	<i>Lauxaniidae</i>	22						



*Estado del conocimiento sobre la conservación de las especies polinizadoras en América del Norte:  
prioridades compartidas para la región*

<i>Coleoptera</i>	Núm. de géneros	<i>Diptera</i>	Núm. de géneros	<i>Hemiptera</i>	Núm. de géneros	<i>Hymenoptera</i>	Núm. de géneros	<i>Lepidoptera</i>	Núm. de géneros
<i>Phalacridae</i>	1	<i>Lonchopteridae</i>	1						
<i>Rhizophagidae</i>	1	<i>Muscidae</i>	47						
<i>Scarabaeidae</i>	6	<i>Mycetophilidae</i>	1						
<i>Scraptiidae</i>	1	<i>Nemestrinidae</i>	3						
<i>Staphylinidae</i>	2	<i>Opomyzidae</i>	3						
		<i>Phoridae</i>	32						
		<i>Psychodidae</i>	1						
		<i>Rhagionidae</i>	7						
		<i>Rhinophoridae</i>	3						
		<i>Sarcophagidae</i>	50						
		<i>Scathophagidae</i>	31						
		<i>Scatopsidae</i>	17						
		<i>Sciaridae</i>	35						
		<i>Sciomyzidae</i>	21						
		<i>Sepsidae</i>	7						
		<i>Sphaeroceridae</i>	40						
		<i>Sphecidae</i>	10						
		<i>Syrphidae</i>	65						
		<i>Tabanidae</i>	32						
		<i>Tachinidae</i>	225						
		<i>Tephritidae</i>	48						
		<i>Therevidae</i>	23						
		<i>Tipulidae</i>	14						
<b>Total Coleoptera</b>	<b>106</b>	<b>Total Diptera</b>	<b>1353</b>	<b>Total Hemiptera</b>	<b>11</b>	<b>Total Hymenoptera</b>	<b>162</b>	<b>Total Lepidoptera</b>	<b>1207</b>

Fuente: "University of Northern Arizona Landscape Conservation Initiative" [Iniciativa para la Conservación del Paisaje de la Universidad del Norte de Arizona], 2021.

## Bibliografía

- Abatzoglou, J. T. y C. A. Kolden (2011), "Climate change in western US deserts: Potential for increased wildfire and invasive annual grasses", *Rangeland Ecology & Management*, vol. 64, núm. 5, pp. 471-478.
- AAFC (2014), *Native Pollinators and Agriculture in Canada*, Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa, Ontario, en: <[http://publications.gc.ca/collections/collection\\_2014/aac-aafc/A59-12-2014-eng.pdf](http://publications.gc.ca/collections/collection_2014/aac-aafc/A59-12-2014-eng.pdf)>.
- \_\_\_\_\_ (2019), *Statistical Overview of the Canadian Honey and Bee Industry, 2019*, Agriculture and Agri-Food Canada, en: <[https://multimedia.agr.gc.ca/pack/pdf/honey\\_miel\\_2019-eng.pdf](https://multimedia.agr.gc.ca/pack/pdf/honey_miel_2019-eng.pdf)>.
- Aguirre, A. y R. Dirzo (2008), "Effects of fragmentation on pollinator abundance and fruit set of an abundant understory palm in a Mexican tropical forest", *Biological Conservation*, núm. 141, pp. 375-384.
- ABMI (2018), *Ecosystem services assessment project: Pollination services report*, informe, Alberta Biodiversity Monitoring Institute, en: <<https://ecosystemservices.abmi.ca/resource/assessing-the-value-of-pollination/>>.
- Allsopp, M. H., W. J. de Lange y R. Veldtman (2008), "Valuing insect pollination services with cost of replacement", *PLoS ONE*, vol. 3, núm. 9, art. e3128, en: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003128>>.
- Arita, H. T. y K. Santos del Prado (1999), "Conservation biology of nectar-feeding bats in Mexico", *Journal of Mammalogy*, vol. 80, núm. 1, pp. 31-41, en: <<https://doi.org/10.2307/1383205>>.
- Ashworth, L., M. Quesada, A. Casas, R. Aguilar y K. Oyama (2009), "Pollinator-dependent food production in Mexico", *Biological Conservation*, vol. 142, núm. 5, pp. 1050-1057, en: <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.01.016>>.
- Aslan, C. E., E. S. Zavaleta, B. Tershy y D. Croll (2013), "Mutualism disruption threatens global plant biodiversity: A systematic review", *PLoS ONE*, vol. 8, núm. 6, art. e66993, en: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0066993>>.
- Bahreini, R. y R. W. Currie (2015), "The influence of *Nosema (Microspora: Nosematidae)* infection on honey bee (*Hymenoptera: Apidae*) defense against *Varroa destructor (Mesostigmata: varroidae)*", *Journal of Invertebrate Pathology*, vol. 132, pp. 57-65, en: <<https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.019>>.
- Baxter-Gilbert, J. H., J. L. Riley, C. J. H. Neufeld, J. D. Litzgus y D. Lesbarrères (2015), "Road mortality potentially responsible for billions of pollinating insect deaths annually", *Journal of Insect Conservation*, núm. 19, pp. 1029-1035, en: <<https://doi.org/10.1007/s10841-015-9808-z>>.
- Bedford, F. E., R. J. Whittaker y J. T. Kerr (2012), "Systemic range shift lags among a pollinator species assemblage following rapid climate change", *Botany*, vol. 90, núm. 7, pp. 587-597, en: <<http://dx.doi.org.proxy.ubishops.ca:2048/10.1139/B2012-052>>.
- Bennett, N. J., R. Roth, S. C. Klain, K. Chan, P. Christie, D. A. Clark, G. Cullman, D. Curran, T. J. Durbin, G. Epstein, A. Greenberg, M. P. Nelson, J. Sandlos, R. Stedman, T. L. Teel, R. Thomas, D. Veríssimo, C. Wyborn (2017), "Conservation social science: Understanding and integrating human dimensions to improve conservation", *Biological Conservation*, vol. 205, pp. 93-108.

- Bradbear, N. (1988), "World distribution of major honeybee diseases and pests", *Bee World*, vol. 69, núm. 1, pp. 15-39, DOI: 10.1080/0005772X.1988.11098943.
- Breed, G. A., S. Stichter y E. E. Crone (2013), "Climate-driven changes in northeastern US butterfly communities", *Nature Climate Change*, núm. 3, pp. 142-145, en: <https://doi.org/10.1038/nclimate1663>.
- Brook, B. W., N. S. Sodhi y C. J. A. Bradshaw (2008), "Synergies among extinction drivers under global change", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 23, núm. 8, pp. 453-460, en: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.03.011>.
- Buchmann, S. L. y G. P. Nabhan (2012), *The Forgotten Pollinators*, Island Press, Washington D. C.
- Buermann, W., J. A. Chaves, R. Dudley, J. A. McGuire, T. B. Smith y D. L. Altshuler (2011), "Projected changes in elevational distribution and flight performance of montane Neotropical hummingbirds in response to climate change", *Global Change Biology*, vol. 17, núm. 4, pp. 1671-1680, en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02330.x>.
- Burkle, L. A., J. C. Marlin y T. M. Knight (2013), "Plant-pollinator interactions over 120 years: Loss of species, co-occurrence, and function", *Science*, vol. 339, núm. 6127, pp. 1611-1615, DOI: 10.1126/science.1232728.
- Calderone, N. W. (2012), "Insect pollinated crops, insect pollinators and US agriculture: Trend analysis of aggregate data for the period 1992–2009", *PLoS ONE*, vol. 7, núm. 5, art. e37235, en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037235>.
- Cameron, S. A., J. D. Lozier, J. P. Strange, J. B. Koch, N. Cordes, L. F. Solter y T. L. Griswold (2011), "Patterns of widespread decline in North American bumble bees", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, núm. 2, pp. 662-667, en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1014743108>.
- Cane, J. H., R. L. Minckley, L. J. Kervin, T. H. Roulston y N. M. Williams (2006), "Complex responses within a desert bee guild (*Hymenoptera: Apiformes*) to urban habitat fragmentation", *Ecological Applications*, vol. 16, núm. 2, pp. 632-644, en: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[0632:CRWADB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[0632:CRWADB]2.0.CO;2).
- Casas, A. y F. Parra (2007), "Agrobiodiversidad, parientes silvestres y cultura", *LEISA Revista de Agroecología*, vol. 23, núm. 2, pp. 5-8, en: [www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-23-numero-2/1799-agrobiodiversidad-parientes-silvestres-y-cultura](http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-23-numero-2/1799-agrobiodiversidad-parientes-silvestres-y-cultura).
- Castañeda Vildózola, A., A. Equihua Martínez, J. Valdés Carrasco, A. F. Barrientos Priego, G. Ish Am y S. Gazit (1999), "Insectos polinizadores del aguacatero en los estados de México y Michoacán", *Revista Chapingo Serie Horticultura*, vol. 5, pp. 129-136, en: [http://avocadosource.com/WAC4/WAC4\\_p129.pdf](http://avocadosource.com/WAC4/WAC4_p129.pdf).
- CCA (1997), *Regiones ecológicas de América del Norte: hacia una perspectiva común*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Quebec, en: [www.cec.org/files/documents/publications/1701-ecological-regions-north-america-toward-common-perspective-es.pdf](http://www.cec.org/files/documents/publications/1701-ecological-regions-north-america-toward-common-perspective-es.pdf).
- \_\_\_\_ (2015), "Cobertura del suelo, 2015 (Landsat y RapidEye, 30m)", Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, en: [www.cec.org/es/atlas-ambiental-de-america-del-norte/cobertura-del-suelo-2015-landsat-y-rapideye-30m/](http://www.cec.org/es/atlas-ambiental-de-america-del-norte/cobertura-del-suelo-2015-landsat-y-rapideye-30m/).
- \_\_\_\_ (2021), "Ecorregiones terrestres: nivel I", Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, en: [www.cec.org/es/atlas-ambiental-de-america-del-norte/ecorregiones-terrestres-nivel-i/](http://www.cec.org/es/atlas-ambiental-de-america-del-norte/ecorregiones-terrestres-nivel-i/).

- \_\_\_\_ (2023), *Plan Estratégico 2021-2025*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, en: <[www.cec.org/files/documents/planes\\_estrategicos/cca-plan-estrategico-2021-2025.pdf](http://www.cec.org/files/documents/planes_estrategicos/cca-plan-estrategico-2021-2025.pdf)>.
- CFIA (2013a), *Alfalfa leaf cutting bee producer guide to the national bee farm-level biosecurity standard*, Canadian Food Inspection Agency, en: <<https://inspection.canada.ca/animal-health/terrestrial-animals/biosecurity/standards-and-principles/alfalfa-leaf-cutting-bee/eng/1379967333142/1380030729469?chap=0>>.
- \_\_\_\_ (2013b), *Bumblebee sector guide to the national bee farm-level biosecurity standard*, Canadian Food Inspection Agency, en: <<https://inspection.canada.ca/animal-health/terrestrial-animals/biosecurity/standards-and-principles/bumblebee-sector-guide/eng/1378396751545/1378397236948?chap=0>>.
- Chamberlain S., D. Oldoni, V. Barve, P. Desmet, L. Geffert, D. Mcglinn y K. Ram (2022), *Rgbif: Interface to the Global Biodiversity Information Facility API*, versión 3.7.9 del paquete R, en <<https://cran.r-project.org/package=rgbif>>.
- CHC (2018), “Industry Overview – Canadian Apiculture Industry”, Canadian Honey Council, en: <<https://honeycouncil.ca/industry-overview/#:~:text=There%20are%20approximately%202013%2C000%20beekeepers,maintain%2080%25%20of%20the%20colonies>>.
- Colla, S. R., F. Gadallah, L. Richardson, D. Wagner y L. Gall (2012) “Assessing declines of North American bumble bees (*Bombus* spp.) using museum specimens”, *Biodiversity and Conservation*, núm. 21, pp. 3585-3595, en: <<https://doi.org/10.1007/s10531-012-0383-2>>.
- Contreras Escareño, F., C. M. Echazarreta, B. Pérez Armendáriz, J. Cavazos Arroyo, J. O. Macías Macías y J. M. Tapia González (2016), “Beekeeping in Jalisco, Mexico”, en: E. D. Chambó (ed.), *Beekeeping and Bee Conservation - Advances in Research*, IntechOpen, Londres, en: <[www.intechopen.com/books/beekeeping-and-bee-conservation-advances-in-research/beekeeping-in-jalisco-m-xico](http://www.intechopen.com/books/beekeeping-and-bee-conservation-advances-in-research/beekeeping-in-jalisco-m-xico)>.
- Cutler, G. C., V. O. Nams, P. Craig, J. M. Sproule y C. Sheffield (2015), “Wild bee pollinator communities of lowbush blueberry fields: Spatial and temporal trends”, *Basic and Applied Ecology*, vol. 16, núm. 1, pp. 73-85, en: <<https://doi.org/10.1016/j.baae.2014.11.005>>.
- Daily, G. C. (1997), “Introduction: What are ecosystem services?”, en: C. Daily (comp.), *Nature’s services: societal dependence on natural ecosystems*, Island Press, Washington D.C., pp. 1-11.
- Dalsgaard, B., K. Trøjelsgaard, A. M. Martín González, D. Nogués Bravo, J. Ollerton, T. Petanidou, B. Sandel, M. Schleuning, Z. Wang, C. Rahbek, W. J. Sutherland, J. C. Svenning y J. M. Olesen (2013), “Historical climate-change influences modularity and nestedness of pollination networks”, *Ecography*, vol. 36, pp. 1331-1340, DOI: 10.1111/j.1600-0587.2013.00201.x.
- Dicks, L. V., B. Viana, R. Bommarco, B. Brosi, M. del Coro Arizmendi, S. A. Cunningham, L. Galetto, R. Hill, A. V. Lopes, C. Pires y H. Taki (2016), “Ten policies for pollinators”, *Science*, vol. 354, núm. 6315, pp. 975-976, DOI: 10.1126/science.aai9226.
- Dicks, L. V., T. D. Breeze, H. T. Ngo, D. Senapathi, J. An *et al.* (2021), “A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline”, *Nat Ecol Evol*, núm. 5, pp. 1453-1461, en: <<https://doi.org/10.1038/s41559-021-01534-9>>.
- Didham, R. K., Y. Basset, C. M. Collins, S. R. Leather, N. A. Littlewood, M. H. M. Menz, J. Müller, L. Packer, M. E. Saunders, K. Schönrogge, A. J. A. Stewart, S. P. Yanoviak y C. Hassall (2020), “Interpreting insect declines: seven challenges and a way forward”, *Insect Conservation and Diversity*, vol. 13, núm. 2, pp. 103-114, en: <<https://doi.org/10.1111/icad.12408>>.

- Douglas, M. R., D. B. Sponsler, E. V. Lonsdorf y C. M. Grozinger (2020), "County-level analysis reveals a rapidly shifting landscape of insecticide hazard to honey bees (*Apis mellifera*) on US farmland", *Scientific Reports*, núm. 10, art. 797, en: <<https://doi.org/10.1038/s41598-019-57225-w>>.
- Drewitt, A. L. y R. H. W. Langston (2006), "Assessing the impacts of wind farms on birds", *Ibis*, vol. 148, núm. 1, pp. 29-42, en: <<https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x>>.
- Ebersole, R. (2018), "Inside the black market hummingbird love charm trade", en: <[www.nationalgeographic.com/news/2018/04/wildlife-watch-illegal-hummingbird-trade-love-charm-mexico-witchcraft/](http://www.nationalgeographic.com/news/2018/04/wildlife-watch-illegal-hummingbird-trade-love-charm-mexico-witchcraft/)>.
- EM (2005), *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, informe de síntesis de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, Island Press, Washington D. C.; disponible (en inglés) en: <[www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf](http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf)>. Véase también (versión en español del resumen para los encargados de tomar decisiones): <[www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf](http://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf)>.
- Encarnaçãõ, J., M. A. Teodósio y P. Morais (2021), "Citizen science and biological invasions: A review", *Frontiers in Environmental Science*, vol. 8, art. 602980, en: <<https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.602980>>.
- Everitt, J. C., J. Welsted y C. Stadel (1996), *The Geography of Manitoba: its Land and its People*, University of Manitoba Press, Winnipeg.
- FAO (2008), *Rapid assessment of pollinators' status: A contribution to the international initiative for the conservation and sustainable use of pollinators*, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia, en: <[www.fao.org/3/i1046e/i1046e.pdf](http://www.fao.org/3/i1046e/i1046e.pdf)>.
- \_\_\_\_ (2009), *Los polinizadores: su biodiversidad poco apreciada, pero importante para la alimentación y la agricultura*, Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en: <[www.fao.org/3/be104s/be104s.pdf](http://www.fao.org/3/be104s/be104s.pdf)>.
- Forister, M. L., B. Cousens, J. G. Harrison, K. Anderson, J. H. Thorne, D. Waetjen, C. C. Nice, M. De Parsia, M. L. Hladik, R. Meese, H. van Vliet y A. M. Shapiro (2016), "Increasing neonicotinoid use and the declining butterfly fauna of lowland California", *Biology Letters*, vol. 12, núm. 8, art. 20160475, en: <<https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0475>>.
- Fox, R. (2013), "The decline of moths in Great Britain: a review of possible causes", *Insect Conservation and Diversity*, vol. 6, núm. 1, pp. 5-19, en: <<https://doi.org/10.1111/j.1752-4598.2012.00186.x>>.
- Freitas, B. M., V. L. Imperatriz Fonseca, L. M. Medina, A. M. P. Kleinert, L. Galetto, G. Nates Parra y J. J. G. Quezada Euán (2009), "Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics", *Apidologie*, núm. 40, pp. 332-346, en: <<https://doi.org/10.1051/apido/2009012>>.
- Fuentes Ramírez, A., J. W. Veldman, C. Holzapfel y K. A. Moloney (2016), "Spreaders, igniters, and burning shrubs: plant flammability explains novel fire dynamics in grass-invaded deserts", *Ecological Applications*, vol. 26, núm. 7, pp. 2311-2322, en: <<https://doi.org/10.1002/eap.1371>>.
- Gilgert, W. y M. Vaughan (2011), "The value of pollinators and pollinator habitat to rangelands: Connections among pollinators, insects, plant communities, fish, and wildlife", *Rangelands*, vol. 33, núm. 3, pp. 14-19, en: <<https://doi.org/10.2111/1551-501X-33.3.14>>.
- Gill, R. J., K. C. R. Baldock, M. J. F. Brown, J. E. Cresswell, L. V. Dicks, M. T. Fountain, M. P. D. Garratt, L. A. Gough, M. S. Heard, J. M. Holland, J. Ollerton, G. N. Stone, C. Q. Tang, A. J. Vanbergen,

- A. P. Vogler, G. Woodward, A. N. Arce, N. D. Boatman, R. Brand Hardy, T. D. Breeze, M. Green, C. M. Hartfield, R. S. O'Connor, J. L. Osborne, J. Phillips, P. B. Sutton y S. G. Potts (2016), "Chapter Four - Protecting an ecosystem service: Approaches to understanding and mitigating threats to wild insect pollinators", *Advances in Ecological Research*, vol. 54, pp. 135-206, Academic Press, en: <<https://doi.org/10.1016/bs.aecr.2015.10.007>>.
- Gray, M. E., B. G. Dickson y L. J. Zachmann (2014), "Modelling and mapping dynamic variability in large fire probability in the lower Sonoran Desert of southwestern Arizona", *International Journal of Wildland Fire*, vol. 23, núm. 8, pp. 1108-1118.
- Graystock, P., E. J. Blane, Q. S. McFrederick, D. Goulson y W. O. H. Hughes (2016), "Do managed bees drive parasite spread and emergence in wild bees?", *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, vol. 5, núm. 1, pp. 64-75, en: <<https://doi.org/10.1016/j.ijppaw.2015.10.001>>.
- Greenleaf, S. S., N. M. Williams, R. Winfree *et al.* (2007), "Bee foraging ranges and their relationship to body size", *Oecologia*, núm. 153, pp. 589-596, en: <<https://doi.org/10.1007/s00442-007-0752-9>>.
- Hall, D. M. y D. J. Martins (2020), "Human dimensions of insect pollinator conservation", *Current Opinion in Insect Science*, vol. 38, pp. 107-114, en: <<https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.04.001>>.
- Hall, P. W. (2009), *Sentinels on the wing: The status and conservation of butterflies in Canada*, NatureServe Canada, Ottawa, en: <[www.natureserve.org/sites/default/files/publications/files/natureserve\\_canada\\_-\\_hall\\_sentinels\\_on\\_the\\_wing\\_2009.pdf](http://www.natureserve.org/sites/default/files/publications/files/natureserve_canada_-_hall_sentinels_on_the_wing_2009.pdf)>.
- Hallmann, C. A., M. Sorg, E. Jongejans, H. Siepel, N. Hofland, H. Schwan, W. Stenmans, A. Müller, H. Sumser, T. Hörrén, D. Goulson y H. de Kroon (2017), "More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas", *PLoS ONE*, vol. 12, núm. 10, art. e0185809, en: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>>.
- Hammerson, G. A., M. Kling, M. Harkness, M. Ormes y B. E. Young (2017), "Strong geographic and temporal patterns in conservation status of North American bats", *Biological Conservation*, vol. 212, parte A, pp. 144-152, en: <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.05.025>>.
- Hanula, J. L., M. D. Ulyshen y S. Horn (2016), "Conserving pollinators in North American forests: A review", *Natural Areas Journal*, vol. 36, núm. 4, pp. 427-439, en: <<https://doi.org/10.3375/043.036.0409>>.
- Havstad, K., D. Peters, B. Allen Diaz, J. Bartolome, B. Bestelmeyer, D. Briske, J. Brown, M. Brunson, J. Herrick, L. Huntsinger, P. Johnson, L. Joyce, R. Pieper, T. Svejcar y J. Yao (2009), "The Western United States rangelands: A major resource", en: W. F. Wedin y S. L. Fales (eds.), *Grassland: Quietness and Strength for a New American Agriculture*, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, Estados Unidos, pp. 75-93, en: <<https://doi.org/10.2134/2009.grassland.c5>>.
- Hedtke, S. M., E. J. Blitzer, G. A. Montgomery y B. N. Danforth (2015), "Introduction of non-native pollinators can lead to transcontinental movement of bee-associated fungi", *PLoS ONE*, vol. 10, núm. 6, art. e0130560, en: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0130560>>.
- Hernández, D. L., D. M. Vallano, E. S. Zavaleta, Z. Tzankova, J. R. Pasari, S. Weiss, P. C. Selman y C. Morozumi (2016), "Nitrogen pollution is linked to US listed species declines", *BioScience*, vol. 66, núm. 3, pp. 213-222, en: <<https://doi.org/10.1093/biosci/biw003>>.
- Hernández, R. R., A. Armstrong, J. Burney, G. Ryan, K. Moore-O'Leary, I. Diédhiou, S. M. Grodsky, L. Saul Gershenz, R. Davis, J. Macknick, D. Mulvaney, G. A. Heath, S. B. Easter, M. K. Hoffacker,

- M. F. Allen y D. M. Kammen (2019), “Techno–ecological synergies of solar energy for global sustainability”, *Nature Sustainability*, núm. 2, pp. 560-568, en: <<https://doi.org/10.1038/s41893-019-0309-z>>.
- Herrerías Diego, Y., M. Quesada, K. E. Stoner y J. A. Lobo (2006), “Effects of forest fragmentation on phenological patterns and reproductive success of the tropical dry forest tree *Ceiba aesculifolia*”, *Conservation Biology*, vol. 20, núm. 4, pp. 1111-1120, en: <<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00370.x>>.
- Horth, L. y L. A. Campbell (2018), “Supplementing small farms with native mason bees increases strawberry size and growth rate”, *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, núm. 2, pp. 591-599, en: <<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12988>>.
- Inamine, H., S. P. Ellner, J. P. Springer y A. A. Agrawal (2016), “Linking the continental migratory cycle of the monarch butterfly to understand its population decline”, *Oikos*, núm. 125, pp. 1081-1091, DOI: 10.1111/oik.03196.
- IPBES (2016), *The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production*, S. G. Potts, V. L. Imperatriz Fonseca y H. T. Ngo (eds.), Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas, Bonn, Alemania, en: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.3402856>>.
- Isaacs, R. y A. K. Kirk (2010), “Pollination services provided to small and large highbush blueberry fields by wild and managed bees”, *Journal of Applied Ecology*, vol. 47, núm. 4, pp. 841-849, en: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01823.x>>.
- Janzen, D. H. y W. Hallwachs (2019), “Perspective: Where might be many tropical insects?”, *Biological Conservation*, vol. 233, pp. 102-108, en: <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.02.030>>.
- Jia, X., B. Bai, J. Zhang y Y. Huang (2018), “The effects of IPBES deliverables on global biodiversity conservation strategy—an analysis based on the U. S. pollinator protection policy”, *Biodiversity Science*, vol. 26, núm. 5, pp. 527-534, en: <<https://doi.org/10.17520/biods.2017323>>.
- Jinbo, U., T. Kato y M. Ito (2011), “Current progress in DNA barcoding and future implications for entomology”, *Entomological Science*, vol. 14, núm. 2, pp. 107-124, en: <<https://doi.org/10.1111/j.1479-8298.2011.00449.x>>.
- Johnson, S. D. y K. E. Steiner (2000), “Generalization versus specialization in plant pollination systems”, *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 15, núm. 4, pp. 140-143, en: <[https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(99\)01811-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(99)01811-X)>.
- Jose, S. (2012), “Agroforestry for conserving and enhancing biodiversity”, *Agroforest Systems*, vol. 85, pp. 1-8, en: <<https://doi.org/10.1007/s10457-012-9517-5>>.
- Kadri, S. M., B. A. Harpur, R. O. Orsi y A. Zayed (2016), “A variant reference data set for the Africanized honeybee, *Apis mellifera*”, *Scientific Data*, núm. 3, art. 160097, en: <<https://doi.org/10.1038/sdata.2016.97>>.
- Kardol, P. y D. A. Wardle (2010), “How understanding aboveground–belowground linkages can assist restoration ecology”, *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 25, núm. 11, pp. 670-679, en: <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.09.001>>.
- Kay, S., E. Kühn, M. Albrecht, L. Sutter, E. Szerencsits y F. Herzog (2020), “Agroforestry can enhance foraging and nesting resources for pollinators with focus on solitary bees at the landscape

- scale”, *Agroforestry Systems*, vol. 94, núm. 2, pp. 379-387, en: <<https://doi.org/10.1007/s10457-019-00400-9>>.
- Keilsohn, W., D. L. Narango y D. W. Tallamy (2018), “Roadside habitat impacts insect traffic mortality”, *Journal of Insect Conservation*, vol. 22, núm. 2, pp. 183-188, en: <<https://doi.org/10.1007/s10841-018-0051-2>>.
- Kennedy, C. M., E. Lonsdorf, M. C. Neel, N. M. Williams, T. H. Ricketts, R. Winfree, R. Bommarco, C. Brittain, A. L. Burley, D. Cariveau, L. G. Carvalheiro, N. P. Chacoff, S. A. Cunningham, B. N. Danforth, J. H. Dudenhöffer, E. Elle, H. R. Gaines, L. A. Garibaldi, C. Gratton, A. Holzschuh, R. Isaacs, S. K. Javorek, S. Jha, A. M. Klein, K. Krewenka, Y. Mandelik, M. M. Mayfield, L. Morandin, L. A. Neame, M. Otieno, M. Park, S. G. Potts, M. Rundlöf, A. Saez, I. Steffan Dewenter, H. Taki, B. Felipe Viana, C. Westphal, J. K. Wilson, S. S. Greenleaf y C. Kremen (2013), “A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems”, *Ecology Letters*, vol. 16, núm. 5, pp. 584-599, en: <<https://doi.org/10.1111/ele.12082>>.
- Kennedy, J. y R. Arghiris (2019), *House of the Royal Lady Bee: Maya revive native bees and ancient beekeeping*, Mongabay, en: <<https://news.mongabay.com/2019/01/house-of-the-royal-lady-bee-maya-revive-native-bees-and-ancient-beekeeping/>>.
- Kerr, J. T. (2001), “Butterfly species richness patterns in Canada: Energy, heterogeneity, and the potential consequences of climate change”, *Conservation Ecology*, vol. 5, núm. 1, art. 10, en: <[www.jstor.org/stable/26271787](http://www.jstor.org/stable/26271787)>.
- Klein, S., A. Cabirol, J. M. Devaud, A. B. Barron y M. Lihoreau (2017), “Why bees are so vulnerable to environmental stressors”, *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 32, núm. 4, pp. 268-278, en: <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.12.009>>.
- Koh, I., E. V. Lonsdorf, N. M. Williams, C. Brittain, R. Isaacs, J. Gibbs y T. H. Ricketts (2016), “Modeling the status, trends, and impacts of wild bee abundance in the United States”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, núm. 1, pp. 140-145, en: <<https://doi.org/10.1073/pnas.1517685113>>.
- Köhler, H. R. y R. Triebkorn (2013), “Wildlife ecotoxicology of pesticides: can we track effects to the population level and beyond?”, *Science*, vol. 341, núm. 6147, pp. 759-765, DOI: 10.1126/science.1237591, en: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23950533/>>.
- Kopec, K. y L. A. Burd (2017), *Pollinators in Peril: A Systematic Review of North American and Hawaiian native bees*, Center for Biological Diversity [Centro para la Diversidad Biológica], Tucson, Arizona, en: <[https://biologicaldiversity.org/campaigns/native\\_pollinators/pdfs/Pollinators\\_in\\_Peril.pdf](https://biologicaldiversity.org/campaigns/native_pollinators/pdfs/Pollinators_in_Peril.pdf)>.
- Kuyah, S., I. Öborn y M. Jonsson (2017), “Regulating ecosystem services delivered in agroforestry systems”, en J. C. Dagar y V. P. Tewari (eds.), *Agroforestry: Anecdotal to modern science* (pp. 797-815, Springer, Singapur, en: DOI: 10.1007/978-981-10-7650-3\_33).
- Lambe, C. M. (2018), “What’s all the buzz about? Analyzing the decision to list the rusty patched bumblebee on the Endangered Species List comments”, *Villanova Environmental Law Journal*, vol. 29, núm. 1, pp. 129-153, en: <<https://digitalcommons.law.villanova.edu/elj/vol29/iss1/5>>.
- Landaverde González, P., J. J. G. Quezada Euán, P. Theodorou, T. E. Murray, M. Husemann, R. Ayala, H. Moo Valle, R. Vandame y R. J. Paxton (2017), “Sweat bees on hot chillies: provision of pollination services by native bees in traditional slash-and-burn agriculture in the Yucatán



- Peninsula of tropical Mexico”, *Journal of Applied Ecology*, vol. 54, núm. 6, pp. 1814-1824, en: <<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12860>>.
- Langor, D. W., E. K. Cameron, C. J. K. MacQuarrie, A. McBeath, A. McClay, B. Peter, M. Pybus, T. Ramsfield, K. Ryall, T. Scarr, D. Yemshanov, I. DeMerchant, R. Footitt y G. R. Pohl (2014), “Non-native species in Canada’s boreal zone: diversity, impacts, and risk”, *Environmental Reviews*, vol. 22, núm. 4, pp. 372-420, en: <<https://doi.org/10.1139/er-2013-0083>>.
- Larson, E. R., B. M. Graham, R. Achury, J. J. Coon, M. K. Daniels, D. K. Gambrell, K. L. Jonasen, G. D. King, N. LaRacunte, T. Perrin-Stowe, E. M. Reed, C. J. Rice, S. A. Ruzi, M. W. Thairu, J. C. Wilson y A. V. Suárez (2020), “From eDNA to citizen science: emerging tools for the early detection of invasive species”, *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 18, núm. 4, pp. 194-202, en: <<https://doi.org/10.1002/fee.2162>>.
- Lázaro, A., T. Tscheulin, J. Devalez, G. Nakas y T. Petanidou (2016a), “Effects of grazing intensity on pollinator abundance and diversity, and on pollination services”, *Ecological Entomology*, vol. 41, núm. 4, pp. 400-412, en: <<https://doi.org/10.1111/een.12310>>.
- Lázaro, A., T. Tscheulin, J. Devalez, G. Nakas, A. Stefanaki, E. Hanlidou y T. Petanidou (2016b), “Moderation is best: effects of grazing intensity on plant–flower visitor networks in Mediterranean communities”, *Ecological Applications*, vol. 26, núm. 3, pp. 796-807, en: <<https://doi.org/10.1890/15-0202>>.
- Leather, S. R. (2017), “‘Ecological Armageddon’: more evidence for the drastic decline in insect numbers”, *Annals of Applied Biology*, vol. 172, núm. 1, pp. 1-3, en: <<https://doi.org/10.1111/aab.12410>>.
- LeBuhn, G., S. Droege, E. F. Connor, B. Gemmill Herren, S. G. Potts, R. L. Minckley, T. Griswold, R. Jean, E. Kula, D. W. Roubik, J. Cane, K. W. Wright, G. Frankie y F. Parker (2013), “Detecting insect pollinator declines on regional and global scales”, *Conservation Biology*, vol. 27, núm. 1, pp. 113-120, en: <<https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2012.01962.x>>.
- Le Conte, Y. y M. Navajas (2008), “Climate change: impact on honey bee populations and diseases”, *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, vol. 27, núm. 2, pp. 485-497 y 499-510, en: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18819674/>>.
- Lintott, P. R., S. M. Richardson, D. J. Hosken, S. A. Fensome y F. Mathews (2016), “Ecological impact assessments fail to reduce risk of bat casualties at wind farms”, *Current Biology*, vol. 26, núm. 21, pp. R1135-R1136, en: <<https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.10.003>>.
- Love, B. G. y J. H. Cane (2019), “Mortality and flowering of great basin perennial forbs after experimental burning: implications for wild bees”, *Rangeland Ecology & Management*, vol. 72, núm. 2, pp. 310-317.
- Mace, G. M., K. Norris y A. H. Fitter (2012), “Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship”, *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 27, núm. 1, pp. 19-26, en: <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>>.
- MacInnis, G. y J. R. K. Forrest (2019), “Pollination by wild bees yields larger strawberries than pollination by honeybees”, *Journal of Applied Ecology*, vol. 56, núm. 4, pp. 824-832, en: <<https://doi.org/10.1111/1365-2664.13344>>.
- Maher, S. P., A. M. Kramer, J. T. Pulliam, M. A. Zokan, S. E. Bowden, H. D. Barton, K. Magori y J. M. Drake (2012), “Spread of white-nose syndrome on a network regulated by geography and climate”, *Nature Communications*, núm. 3, art. 1306, en: <<https://doi.org/10.1038/ncomms2301>>.

- Marques, A. T., H. Batalha, S. Rodrigues, H. Costa, M. J. R. Pereira, C. Fonseca, M. Mascarenhas y J. Bernardino (2014), "Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies", *Biological Conservation*, vol. 179, núm. 2, pp. 40-52, en: <[www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000632071400305X](http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S000632071400305X)>.
- Martin Culma N. Y. y N. E. Arenas Suárez (2018), "Daño colateral en abejas por la exposición a pesticidas de uso agrícola", *Entramado*, vol. 14, núm. 1, pp. 232-240, en: <[www.scielo.org.co/pdf/entra/v14n1/1900-3803-entra-14-01-232.pdf](http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v14n1/1900-3803-entra-14-01-232.pdf)>.
- Mathiasson, M. E. y S. M. Rehan (2019), "Status changes in the wild bees of north-eastern North America over 125 years revealed through museum specimens", *Insect Conservation and Diversity*, vol. 12, núm. 4, pp. 278-288, en: <<https://doi.org/10.1111/icad.12347>>.
- McDonald, C. J. y G. R. McPherson (2013), "Creating hotter fires in the Sonoran Desert: buffelgrass produces copious fuels and high fire temperatures", *Fire Ecology*, vol. 9, núm. 2, pp. 26-39, en: <<https://doi.org/10.4996/fireecology.0902026>>.
- McFrederick, Q. S., J. C. Kathilankal y J. D. Fuentes (2008), "Air pollution modifies floral scent trails", *Atmospheric Environment*, vol. 42, núm. 10, pp. 2336-2348, en: <<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.12.033>>.
- McKechnie, I. M., C. J. M. Thomsen y R. D. Sargent (2017), "Forested field edges support a greater diversity of wild pollinators in lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*)", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 237, pp. 154-161, en: <<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.005>>.
- Meeus, I., M. J. F. Brown, D. C. De Graaf y G. Smagghe (2011), "Effects of invasive parasites on bumble bee declines", *Conservation Biology*, vol. 25, núm. 4, pp. 662-671, en: <[www.jstor.org/stable/27976525](http://www.jstor.org/stable/27976525)>.
- Melhim, A., A. Weersink, Z. Daly y N. Bennett (2010), *Beekeeping in Canada: Honey and Pollination Outlook*, Canadian Pollination Initiative, Food, Agriculture and Resource Economics, en: <[https://nbwildblue.ca/wp-content/uploads/Public/ResearchReports/Report\\_1011\\_CP006.pdf](https://nbwildblue.ca/wp-content/uploads/Public/ResearchReports/Report_1011_CP006.pdf)>.
- Michener, C. D. (2000), *The Bees of the World*, John Hopkins University Press, Baltimore, Maryland.
- Mitchell, M. G. E., E. M. Bennett y A. González (2013), "Linking landscape connectivity and ecosystem service provision: current knowledge and research gaps", *Ecosystems*, vol. 16, núm 5, pp. 894-908, en: <<https://doi.org/10.1007/s10021-013-9647-2>>.
- Moisan DeSerres, J., M. Chagnon y V. Fournier (2015), "Influence of windbreaks and forest borders on abundance and species richness of native pollinators in lowbush blueberry fields in Québec, Canada", *The Canadian Entomologist*, vol. 147, núm. 4, pp. 432-442, DOI: 10.4039/tce.2014.55, en: <[www.researchgate.net/publication/265784547\\_Influence\\_of\\_windbreaks\\_and\\_forest\\_borders\\_on\\_abundance\\_and\\_species\\_richness\\_of\\_native\\_pollinators\\_in\\_lowbush\\_blueberry\\_fields\\_in\\_Quebec\\_Canada](http://www.researchgate.net/publication/265784547_Influence_of_windbreaks_and_forest_borders_on_abundance_and_species_richness_of_native_pollinators_in_lowbush_blueberry_fields_in_Quebec_Canada)>.
- Moisett, B. y S. Buchmann (2011), *Bee basics: An introduction to our native bees*, USDA Forest Service y Pollinator Partnership, en: <[https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/SC/Bee\\_Basics\\_North\\_American\\_Bee\\_ID.pdf?fbclid=IwAR3J3ETsPb28oi9627OuuVlqDbtrDguk\\_MWihRvDlcvr4hrV6A4GOIBSs](https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/SC/Bee_Basics_North_American_Bee_ID.pdf?fbclid=IwAR3J3ETsPb28oi9627OuuVlqDbtrDguk_MWihRvDlcvr4hrV6A4GOIBSs)>.
- Montgomery, G. A., R. R. Dunn, R. Fox, E. Jongejans, S. R. Leather, M. E. Saunders, C. R. Shortall, M. W. Tingley y D. L. Wagner (2020), "Is the insect apocalypse upon us? How to find out", *Biological Conservation*, vol. 241, art. 108327, en: <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108327>>.

- Morandin, L. A. y M. L. Winston (2005), "Wild bee abundance and seed production in conventional, organic, and genetically modified canola", *Ecological Applications*, vol. 15, núm. 3, pp. 871-881, en: <<https://doi.org/10.1890/03-5271>>.
- Moroń, D., I. M. Grześ, P. Skórka, H. Szentgyörgyi, R. Laskowski, S. G. Potts y M. Woyciechowski (2012), "Abundance and diversity of wild bees along gradients of heavy metal pollution", *Journal of Applied Ecology*, vol. 49, núm. 1, pp. 118-125, en: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2011.02079.x>>.
- Moroń, D., H. Szentgyörgyi, P. Skórka, S. G. Potts y M. Woyciechowski (2014), "Survival, reproduction and population growth of the bee pollinator *Osmia rufa* (Hymenoptera: Megachilidae), along gradients of heavy metal pollution", *Insect Conservation and Diversity*, vol. 7, núm. 2, pp. 113-121, en: <<https://doi.org/10.1111/icad.12040>>.
- Nakao, F. (2017), "Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES): progress and challenges", *Journal of Rural Planning Association*, vol. 36, núm. 1, pp. 13-16, en: <<https://doi.org/10.2750/arp.36.13>>.
- Nanetti, A., L. Bortolotti y G. Cilia (2021), "Pathogens spillover from honeybees to other arthropods", *Pathogens*, vol. 10, núm. 8, art. 1044, en: 10.3390/pathogens10081044.
- Nearman, A. y D. van Engelsdorp (2018), "What happened to colony collapse disorder?", *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift*, núm. 131, pp. 10-15, en: <[www.vetline.de/what-happened-to-colony-collapse-disorder](http://www.vetline.de/what-happened-to-colony-collapse-disorder)>.
- Nieto, G. (2011), *Protecting Native Bee Populations in Mexico*, en: <<https://ourworld.unu.edu/en/protecting-native-bee-populations-in-mexico>>.
- NRC (2007), *Status of Pollinators in North America*, National Research Council, The National Academies Press, Washington D. C., en: <<https://doi.org/10.17226/11761>>.
- O'Hara, J. E. y D. M. Wood (2004), "Catalogue of the *Tachinidae* (Diptera) of America north of Mexico", *Memoirs on Entomology, International*, núm. 18: pp. iv y 410.
- Olesen, J. M. y A. Valido (2003), "Lizards as pollinators and seed dispersers: an island phenomenon", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 18, núm. 4, pp. 177-181, en: <[https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00004-1](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00004-1)>.
- Ollerton J. (2017), "Pollinator diversity: Distribution, ecological function, and conservation", *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, vol. 48, pp. 353-376, en: <<https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022919>>.
- OMAFRA (2018), "2018 Ontario Apiculture Winter Loss Survey", Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, en: <[www.ontario.ca/document/annual-apiculture-winter-loss-reports/2018-apiculture-winter-loss-report](http://www.ontario.ca/document/annual-apiculture-winter-loss-reports/2018-apiculture-winter-loss-report)>.
- O'Shea, T. J., P. M. Cryan, D. T. S. Hayman, R. K. Plowright y D. G. Streicker (2016), "Multiple mortality events in bats: a global review", *Mammal Review*, vol. 46, núm. 3, pp. 175-190, en: <<https://doi.org/10.1111/mam.12064>>.
- Paini, D. R. (2004), "Impact of the introduced honey bee (*Apis mellifera*) (Hymenoptera: Apidae) on native bees: A review", *Austral Ecology*, vol. 29, núm. 4, pp. 399-407, en: <<https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2004.01376.x>>.
- Paudel, Y. P., R. Mackereth, R. Hanley y W. Qin (2015), "Honey Bees (*Apis mellifera* L.) and pollination issues: Current status, impacts, and potential drivers of decline",

- Journal of Agricultural Science*, vol. 7, núm. 6, pp. 93-109, en:  
<<https://www.ccsenet.org/journal/index.php/jas/article/view/46259>>.
- Pelton, E. M., C. B. Schultz, S. J. Jepsen, S. H. Black y E. E. Crone (2019), "Western monarch population plummets: status, probable causes, and recommended conservation actions", *Frontiers in Ecology and Evolution*, vol. 7, art. 258, en: <<https://doi.org/10.3389/fevo.2019.00258>>.
- PHTF (2015a), "Pollinator Research Action Plan: Report of the Pollinator Health Task Force", Pollinator Health Task Force, Casa Blanca, Washington D. C., en:  
<<https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/Pollinator%20Research%20Action%20Plan%202015.pdf>>.
- \_\_\_\_\_ (2015b), "National Strategy to Promote the Health of Honey Bees and Other Pollinators", Pollinator Health Task Force, Casa Blanca, Washington D. C., en:  
<<https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/Pollinator%20Health%20Strategy%202015.pdf>>.
- Pinkus Rendón, M. A., V. Parra Tabla y V. Meléndez Ramírez (2005), "Floral resource use and interactions between *Apis mellifera* and native bees in cucurbit crops in Yucatán, Mexico", *The Canadian Entomologist*, vol. 137, núm. 4, pp. 441-449, DOI: 10.4039/n04-043, en:  
<[www.academia.edu/2565848/Floral\\_resource\\_use\\_and\\_interactions\\_between\\_Apis\\_mellifera\\_and\\_native\\_bees\\_in\\_cucurbit\\_crops\\_in\\_Yucatán\\_México](http://www.academia.edu/2565848/Floral_resource_use_and_interactions_between_Apis_mellifera_and_native_bees_in_cucurbit_crops_in_Yucatán_México)>.
- Pohl, G. R., J-F. Landry, B. C. Schmidt, J. D. Lafontaine, J. T. Troubridge, A. D. Macaulay, E. J. van Nieukerken, J. R. deWaard, J. J. Dombroskie, J. Klymko, V. Nazari y K. Stead (2018), "Annotated checklist of the moths and butterflies (*Lepidoptera*) of Canada and Alaska", Pensoft, Sofía, Bulgaria, en: <<https://ebooks.pensoft.net/books/13080>>.
- Pohl, G. R., J-F. Landry, B. C. Schmidt y J. R. deWaard (2019), "*Lepidoptera* of Canada", *ZooKeys*, vol. 24, núm. 819, pp. 463-505, DOI: 10.3897/zookeys.819.27259, en:  
<<https://zookeys.pensoft.net/article/27259/>>.
- Potts, S. G., J. C. Biesmeijer, C. Kremen, P. Neumann, O. Schweiger y W. E. Kunin (2010), "Global pollinator declines: trends, impacts and drivers", *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 25, núm. 6, pp. 345-353, en: <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>>.
- Pustkowiak, S., W. Banaszak-Cibicka, L. E. Mielczarek, P. Tryjanowski y P. Skórka (2018), "The association of windmills with conservation of pollinating insects and wild plants in homogeneous farmland of western Poland", *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 25, núm. 7, pp. 6273-6284, en: <<https://doi.org/10.1007/s11356-017-0864-7>>.
- Put, J. E., G. W. Mitchell y L. Fahrig (2018), "Higher bat and prey abundance at organic than conventional soybean fields", *Biological Conservation*, vol. 226, pp. 177-185, en:  
<<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.06.021>>.
- Regal, P. J. (1982), "Pollination by wind and animals: Ecology of geographic patterns", *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 13, pp. 497-524, en:  
<[www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.es.13.110182.002433](http://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.es.13.110182.002433)>.
- Rhoda, R. y T. Burton (2010), *Geo-Mexico: the geography and dynamics of modern Mexico*, Sombrero Books, Ladysmith, Columbia Británica, Canadá.
- Richards, K. W. y P. G. Kevan (2002), "Aspects of bee biodiversity, crop pollination and conservation in Canada", en P. Kevan y V. L. Imperatriz Fonseca (eds.), *Pollinating bees: the conservation link between agriculture and nature*, Ministerio de Medio Ambiente, Brasilia, Brasil, pp. 51-67.

- Romero, M. J. y J. J. G. Quezada Euán (2013), "Pollinators in biofuel agricultural systems: the diversity and performance of bees (*Hymenoptera: Apoidea*) on *Jatropha curcas* in Mexico", *Apidologie*, vol. 44, núm. 4, pp. 419-429, en: <<https://doi.org/10.1007/s13592-013-0193-x>>.
- Rundlöf, M., G. K. S. Andersson, R. Bommarco, I. Fries, V. Hederström, L. Herbertsson, B. K. Klatt, T. R. Pedersen, J. Yourstone y H. G. Smith (2015), "Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees", *Nature*, vol. 521, núm. 7550, pp. 77-80, en: <<https://doi.org/10.1038/nature14420>>.
- Russo, L. (2016), "Positive and negative impacts of non-native bee species around the world", *Insects*, vol. 7, núm. 4, art. 69, en: <<https://doi.org/10.3390/insects7040069>>.
- Sachman Ruiz, B., V. Narváez Padilla y E. Reynaud (2015), "Commercial *Bombus impatiens* as reservoirs of emerging infectious diseases in central Mexico", *Biological Invasions*, vol. 17, núm. 7, pp. 2043-2053, en: <<https://doi.org/10.1007/s10530-015-0859-6>>.
- Sánchez Bayo, F. y K. A. G. Wyckhuys (2019), "Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers", *Biological Conservation*, vol. 232, pp. 8-27, en: <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>>.
- Schweitzer, D. F., N. A. Capuano, B. E. Young y S. R. Colla (2012), *Conservation and Management of North American Bumble Bees*, Pollinator Partnership (coord.), USDA Forest Service y NatureServe, Washington D. C. y Arlington, Virginia, en: <[www.natureserve.org/sites/default/files/publications/files/cons-mgmt-na-bumblebees-web-rev.pdf](http://www.natureserve.org/sites/default/files/publications/files/cons-mgmt-na-bumblebees-web-rev.pdf)>.
- Semmens, B. X., D. J. Semmens, W. E. Thogmartin, R. Wiederholt, L. López Hoffman, J. E. Diffendorfer, J. M. Pleasants, K. S. Oberhauser y O. R. Taylor (2016), "Quasi-extinction risk and population targets for the Eastern, migratory population of monarch butterflies (*Danaus plexippus*)", *Scientific Reports*, núm. 6, art. 23265, en: <<https://doi.org/10.1038/srep23265>>.
- Sheffield, C. S., P. G. Kevan, S. M. Westby y R. F. Smith (2008), "Diversity of cavity-nesting bees (*Hymenoptera: Apoidea*) within apple orchards and wild habitats in the Annapolis Valley, Nova Scotia, Canada", *The Canadian Entomologist*, vol. 140, núm. 2, pp. 235-249, DOI: 10.4039/n07-058.
- Sheffield, C. S., S. Dumesh y M. Cheryomina (2011), "*Hylaeus punctatus* (*Hymenoptera: Colletidae*), a bee species new to Canada, with notes on other non-native species", *JESO*, vol. 142, pp. 29-43, en: <[www.entsocont.ca/uploads/3/0/2/6/30266933/5\\_jeso\\_142\\_sheffield\\_et\\_al\\_29\\_43.pdf](http://www.entsocont.ca/uploads/3/0/2/6/30266933/5_jeso_142_sheffield_et_al_29_43.pdf)>.
- Simmons, B. I., A. Balmford, A. J. Bladon, A. P. Christie, A. De Palma, L. V. Dicks, J. Gallego Zamorano, A. Johnston, P. A. Martin, A. Purvis, R. Rocha, H. S. Wauchope, C. F. R. Wordley, T. A. Worthington y T. Finch (2019), "Worldwide insect declines: An important message, but interpret with caution", *Ecology and Evolution*, vol. 9, núm. 7, pp. 3678-3680, en: <<https://doi.org/10.1002/ece3.5153>>.
- Sirois Delisle, C. y J. T. Kerr (2018), "Climate change-driven range losses among bumblebee species are poised to accelerate", *Scientific Reports*, núm. 8, art. 14464, en: <<https://doi.org/10.1038/s41598-018-32665-y>>.
- Sivakoff, F. S. y M. M. Gardiner (2017), "Soil lead contamination decreases bee visit duration at sunflowers", *Urban Ecosystems*, vol. 20, núm. 6, pp. 1221-1228, en: <<https://doi.org/10.1007/s11252-017-0674-1>>.
- Smithsonian Institute (s.f./a), *Bug Info: Butterflies in the United States*, hoja informativa 189, preparada por el Departamento de Sistemática Biológica, División de Entomología, Museo

Nacional de Historia Natural, en cooperación con el Servicio de Consultas Públicas (*Public Inquiry Services*), en: <[www.si.edu/spotlight/buginfo/butterflyus](http://www.si.edu/spotlight/buginfo/butterflyus)>.

\_\_\_\_ (s.f./b), *Bug Info: Moths*, hoja informativa 169, preparada por el Departamento de Sistemática Biológica, División de Entomología, Museo Nacional de Historia Natural, en cooperación con el Servicio de Consultas Públicas (*Public Inquiry Services*), en: <[www.si.edu/spotlight/buginfo/moths](http://www.si.edu/spotlight/buginfo/moths)>.

Spivak, M., E. Mader, M. Vaughan y N. H. Euliss (2011), "The plight of the bees", *Environmental Science and Technology*, vol. 45, núm. 1, pp. 34-38, en: <<https://doi.org/10.1021/es101468w>>.

Stanley, D. A., M. P. D. Garratt, J. B. Wickens, V. J. Wickens, S. G. Potts y N. E. Raine (2015), "Neonicotinoid pesticide exposure impairs crop pollination services provided by bumblebees", *Nature*, vol. 528, núm. 7583, pp. 548-550, en: <<https://doi.org/10.1038/nature16167>>.

Statistics Canada (2019), "Agriculture and Agri-Food Economic Account, 2015", Dirección General de Estadísticas de Canadá, en: <[www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/190730/dq190730a-eng.htm](http://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/190730/dq190730a-eng.htm)>.

Strange, J. P. (2015), "*Bombus huntii*, *Bombus impatiens*, and *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: Apidae) pollinate greenhouse-grown tomatoes in western North America", *Journal of Economic Entomology*, vol. 108, núm. 3, pp. 873-879, en: <<https://doi.org/10.1093/jee/tov078>>.

Straub, L., G. R. Williams, B. Vidondo, K. Khongphinitbunjong, G. Retschnig, A. Schneeberger, P. Chantawannakul, V. Dietemann y P. Neumann (2019), "Neonicotinoids and ectoparasitic mites synergistically impact honeybees", *Scientific Reports*, núm. 9, art. 8159, en: <<https://doi.org/10.1038/s41598-019-44207-1>>.

Stubbs, C. S., F. A. Drummond y S. L. Allard (1997), "Bee conservation and increasing *Osmia* spp. in Maine lowbush blueberry fields", *Northeastern Naturalist*, vol. 4, núm. 3, pp. 133-144, en: <<https://doi.org/10.2307/3858708>>.

Suckling, D. M., D. E. Conlong, J. E. Carpenter, K. A. Bloem, P. Rendon y M. J. B. Vreysen (2017), "Global range expansion of pest *Lepidoptera* requires socially acceptable solutions", *Biological Invasions*, vol. 19, núm. 4, pp. 1107-1119, en: <<https://doi.org/10.1007/s10530-016-1325-9>>.

Tadey, M. (2015), "Indirect effects of grazing intensity on pollinators and floral visitation", *Ecological Entomology*, vol. 40, núm. 4, pp. 451-460, en: <<https://doi.org/10.1111/een.12209>>.

Thogmartin, W. E., R. Wiederholt, K. Oberhauser, R. G. Drum, J. E. Diffendorfer, S. Altizer, O. R. Taylor, J. Pleasants, D. Semmens, B. Semmens, R. Erickson, K. Libby y L. López Hoffman (2017), "Monarch butterfly population decline in North America: identifying the threatening processes", *Royal Society Open Science*, vol. 4, núm. 9, art. 170760, en: <<https://doi.org/10.1098/rsos.170760>>.

Thomas, J. A. (2016), "Butterfly communities under threat", *Science*, vol. 353, núm. 6296, pp. 216-218, en: DOI: 10.1126/science.aaf8838.

Thomson, D. M. (2016), "Local bumble bee decline linked to recovery of honey bees, drought effects on floral resources", *Ecology Letters*, vol. 19, núm. 10, pp. 1247-1255, en: <<https://doi.org/10.1111/ele.12659>>.

Thuiller, W. (2004), "Patterns and uncertainties of species' range shifts under climate change", *Global Change Biology*, vol. 10, núm. 12, pp. 2020-2027, en: <<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00859.x>>.

- UNCTAD (2014), *Mexico's Agriculture Development: Perspectives and Outlook*, Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, Nueva York y Ginebra; disponible (en inglés) en: <[https://unctad.org/system/files/official-document/ditctncd2012d2\\_en.pdf](https://unctad.org/system/files/official-document/ditctncd2012d2_en.pdf)>.
- Universidad de Maryland (2021), "US beekeepers continue to report high colony loss rates, no clear improvement", *ScienceDaily*, en: <[www.sciencedaily.com/releases/2021/06/210623193939.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2021/06/210623193939.htm)>.
- Upton, J. (2014), "Solar farms threaten birds", *Scientific American*, en: <[www.scientificamerican.com/article/solar-farms-threaten-birds/](http://www.scientificamerican.com/article/solar-farms-threaten-birds/)>.
- USDA (2020), *Pollinator Facts*, US Department of Agriculture, en: <[www.usda.gov/sites/default/files/documents/pollinator-week-factsheet-06.25.2020.pdf](http://www.usda.gov/sites/default/files/documents/pollinator-week-factsheet-06.25.2020.pdf)>.
- \_\_\_\_ (2021a), "ARS Honey Bee Health", US Department of Agriculture, en: <[www.ars.usda.gov/oc/br/ccd/index/](http://www.ars.usda.gov/oc/br/ccd/index/)>.
- \_\_\_\_ (2021b), "Cattle & Beef: Sector at a Glance", US Department of Agriculture, en: <[www.ers.usda.gov/topics/animal-products/cattle-beef/sector-at-a-glance/](http://www.ers.usda.gov/topics/animal-products/cattle-beef/sector-at-a-glance/)>.
- USDA y DOI (2015), *Pollinator-friendly Best Management Practices for Federal Lands* [Mejores prácticas de manejo para especies polinizadoras aplicables en tierras federales], US Department of Agriculture y US Department of Interior, en: <[www.fs.usda.gov/wildflowers/pollinators/BMPs/index.shtml](http://www.fs.usda.gov/wildflowers/pollinators/BMPs/index.shtml)>.
- USFWS (2020), *Monarch (Danaus plexippus) Species Status Assessment Report*, US Fish and Wildlife Service, informe disponible en: <<https://ecos.fws.gov/ServCat/DownloadFile/191345>>.
- Vadrot, A. B. M., A. Rankovic, R. Lapeyre, P. M. Aubert y Y. Laurans (2018), "Why are social sciences and humanities needed in the works of IPBES? A systematic review of the literature", *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, vol. 31, pp. S78-S100, en: <<https://doi.org/10.1080/13511610.2018.1443799>>.
- Vanbergen, A. J. e Insects Pollinator Initiative (2013), "Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators", *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 11, núm. 5, pp. 251-259, en: <<https://doi.org/10.1890/120126>>.
- Van der Sluijs, J. P., N. Simon Delso, D. Goulson, L. Maxim, J. M. Bonmatin y L. P. Belzunces (2013), "Neonicotinoids, bee disorders and the sustainability of pollinator services", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 5, núm. 3-4, pp. 293-305, en: <<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.05.007>>.
- Van Klink, R., D. E. Bowler, K. B. Gongalsky, A. B. Swengel, A. Gentile y J. M. Chase (2020), "Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances", *Science*, vol. 368, núm. 6849, pp. 417-420, en: <[www.science.org/doi/10.1126/science.aax9931](http://www.science.org/doi/10.1126/science.aax9931)>.
- Velthuis, H. H. W. (2002), "The historical background of the domestication of the bumble-bee, *Bombus terrestris*, and its introduction in agriculture", en: P. Kevan y V. L. Imperatriz Fonseca (eds.), *Pollinating bees: the conservation link between agriculture and nature*, Ministerio de Medio Ambiente, Brasilia, pp. 142-149, en: <[http://webbee.org.br/bpi/pdfs/livro\\_02\\_velthuis.pdf](http://webbee.org.br/bpi/pdfs/livro_02_velthuis.pdf)>.
- Villanueva Gutiérrez, R., D. W. Roubik y W. Colli Uacán (2005), "Extinction of *Melipona beecheii* and traditional beekeeping in the Yucatán peninsula", *Bee World*, vol. 86, núm. 2, pp. 35-41, DOI: 10.1080/0005772X.2005.11099651, en: <[www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0005772X.2005.11099651](http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0005772X.2005.11099651)>.

- Villegas, G., A. Bolaños, J. Miranda y A. Zenón (2000), *Flora nectarífera y polinífera en el estado de Chiapas*, 1ª ed., Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, México, en: <[www.scribd.com/document/136362125/Flora-Nectarifera-y-Polinifera-Del-Estado-de-Chiapas](http://www.scribd.com/document/136362125/Flora-Nectarifera-y-Polinifera-Del-Estado-de-Chiapas)>.
- Vogel, G. (2017), "Where have all the insects gone?", *Science*, vol. 356, núm. 6338, pp. 576-579, en: <[www.science.org/doi/10.1126/science.356.6338.576](http://www.science.org/doi/10.1126/science.356.6338.576)>.
- Wagner, D. L. (2012), "Moth decline in the Northeastern United States", *News of The Lepidopterists' Society*, vol. 54, núm. 2, pp. 52-56, en: <<http://nationalmothweek.org/wp-content/uploads/2012/07/Moth-Decline.pdf>>.
- \_\_\_\_ (2017), "Trends in biodiversity: Insects", en D. A. Dellasala y M. I. Goldstein (eds.), *The Encyclopedia of the Anthropocene*, vol. 3: *Biodiversity*, Elsevier, Amsterdam, pp. 131-143, en: <[www.researchgate.net/publication/318502360\\_Trends\\_in\\_Biodiversity\\_Insects](http://www.researchgate.net/publication/318502360_Trends_in_Biodiversity_Insects)>.
- \_\_\_\_ (2020), "Insect declines in the Anthropocene", *Annual Review of Entomology*, núm. 65, pp. 457-480, en: <<https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011019-025151>>.
- Wagner, D. L., E. M. Grames, M. L. Forister, M. R. Berenbaum y D. Stopak (2021), "Insect decline in the Anthropocene: Death by a thousand cuts", *Proceedings of the National Academy of Sciences* [memorias de la Academia Nacional de Ciencia de Estados Unidos], vol. 118, núm. 2, en: <[www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2023989118](http://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2023989118)>.
- Walker, L. y S. Wu (2017), "Pollinators and pesticides", en G. Steier y K. K. Patel (eds.), *International Farm Animal, Wildlife and Food Safety Law*, Springer International Publishing, Suiza, pp. 495-513, en: <[www.researchgate.net/publication/312185439\\_Pollinators\\_and\\_Pesticides](http://www.researchgate.net/publication/312185439_Pollinators_and_Pesticides)>.
- Walther, G. R., A. Roques, P. E. Hulme, M. T. Sykes, P. Pyšek, I. Kühn, M. Zobel, S. Bacher, Z. Botta Dukát, H. Bugmann, B. Czúcz, J. Dauber, T. Hickler, V. Jarošík, M. Kenis, S. Klotz, D. Minchin, M. Moora, W. Nentwig, J. Ott, V. E. Panov, B. Reineking, C. Robinet, V. Semchenko, W. Solarz, W. Thuiller, M. Vilà, K. Vohland y J. Settele (2009), "Alien species in a warmer world: risks and opportunities", *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 24, núm. 12, pp. 686-693, en: <<https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.06.008>>.
- Weiss, S. B. (1999), "Cars, cows, and checkerspot butterflies: nitrogen deposition and management of nutrient-poor grasslands for a threatened species", *Conservation Biology*, vol. 13, núm. 6, pp. 1476-1486, en: <<https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.98468.x>>.
- Wepprich, T., J. R. Adrion, L. Ries, J. Wiedmann y N. M. Haddad (2019), "Butterfly abundance declines over 20 years of systematic monitoring in Ohio, USA", *PLoS ONE*, vol. 14, núm. 7, art. e0216270, en: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216270>>.
- Wethington, S. M. y N. Finley (2008), "Addressing hummingbird conservation needs: an initial assessment", memorias de la cuarta conferencia internacional de Partners in Flight: *Tundra to Tropics* [De la tundra al trópico], en: <[www.partnersinflight.org/wp-content/uploads/2017/03/Wethington-S.-M.-and-N.-Finley-p-662-666.pdf](http://www.partnersinflight.org/wp-content/uploads/2017/03/Wethington-S.-M.-and-N.-Finley-p-662-666.pdf)>.
- Winfrey, R., B. J. Gross y C. Kremen (2011), "Valuing pollination services to agriculture", *Ecological Economics*, vol. 71, pp. 80-88, en: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.001>>.
- Winsa, M., E. Öckinger, R. Bommarco, R. Lindborg, S. P. M. Roberts, J. Wärnsberg e I. Bartomeus (2017), "Sustained functional composition of pollinators in restored pastures despite slow functional restoration of plants", *Ecology and Evolution*, vol. 7, núm. 11, pp. 3836-3846, en: <<https://doi.org/10.1002/ece3.2924>>.



- Winter, K., L. Adams, R. Thorp, D. Inouye, L. Day, J. Ascher y S. Buchmann (2006), "Importation of non-native bumble bees into North America: potential consequences of using *Bombus terrestris* and other non-native bumble bees for greenhouse crop pollination in Canada, Mexico, and the United States", libro blanco, North American Pollinator Protection Campaign [Campaña de América del Norte para la Protección de los Polinizadores], San Francisco, California, Estados Unidos.
- Wojcik, V. A. y S. Buchmann (2012), "Pollinator conservation and management on electrical transmission and roadside rights-of-way: A review", *Journal of Pollination Ecology*, vol. 7, núm. 3, pp. 16-26, en: <<http://dx.doi.org/10.26786/1920-7603%282012%295>>.
- Woodcock, B. A., J. M. Bullock, R. F. Shore, M. S. Heard, M. G. Pereira, J. Redhead, L. Ridding, H. Dean, D. Sleep, P. Henrys, J. Peyton, S. Hulmes, L. Hulmes, M. Sárospataki, C. Saure, M. Edwards, E. Genersch, S. Knäbe y R. F. Pywell (2017), "Country-specific effects of neonicotinoid pesticides on honey bees and wild bees", *Science*, vol. 356, núm. 6345, pp. 1393-1395, en: <[www.science.org/doi/10.1126/science.aaa1190](http://www.science.org/doi/10.1126/science.aaa1190)>.
- Wyllie de Echeverria, V. R. y T. F. Thornton (2019), "Using traditional ecological knowledge to understand and adapt to climate and biodiversity change on the Pacific coast of North America", *Ambio*, vol. 48, núm. 12, pp. 1447-1469, en: <<https://doi.org/10.1007/s13280-019-01218-6>>.
- Yesson, C., P. W. Brewer, T. Sutton, N. Caithness, J. S. Pahwa, M. Burgess, W. A. Gray, R. J. White, A. C. Jones, F. A. Bisby y A. Culham (2007), "How global is the global biodiversity information facility?", *PLoS ONE*, vol. 2, núm. 11, art. e1124, en: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001124>>.
- Young, B. E., S. Auer, M. Ormes, G. Rapacciuolo, D. Schweitzer y N. Sears (2017), "Are pollinating hawk moths declining in the Northeastern United States? An analysis of collection records", *PLoS ONE*, vol. 12, núm. 10, art. e0185683, en: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185683>>.