



CEC  
CCA  
CCE

# Herramientas geoespaciales para el monitoreo y la integración de inventarios de abejas nativas de América del Norte

Recomendaciones estratégicas  
y áreas prioritarias



Citar como:

CCA (2025), *Herramientas geoespaciales para el monitoreo y la integración de inventarios de abejas nativas de América del Norte: recomendaciones estratégicas y áreas prioritarias*, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, viii + 44 pp.

La presente publicación fue elaborada por la consultora Olivia Carril para el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental. La información que contiene es responsabilidad de su autora y no necesariamente refleja los puntos de vista de la CCA o de los gobiernos de Canadá, Estados Unidos o México.

Acerca de la autora:

Olivia Carril es especialista en inventarios de abejas nativas con amplia experiencia en el uso de herramientas geoespaciales y bases de datos. Como educadora y autora, cuenta con amplia experiencia en la facilitación de discusiones, además de estar bien versada en la investigación y las iniciativas en las que se centraron los talleres de la CCA en torno a las abejas nativas.

Se permite la reproducción —total o parcial, y en cualquier forma— de este documento, sin previa autorización por parte del Secretariado de la CCA, 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, 2025

ISBN: 978-2-89700-371-5

Available in English – ISBN: 978-2-89700-369-2

Disponible en français – ISBN: 978-2-89700-370-8

Depósito legal: Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2025

Depósito legal: Library and Archives Canada, 2025

Foto de portada: Abeja sudorífera bicolor (*Agapostemon virescens*) sobre una flor roja, Wirestock

#### Detalles de la publicación

*Tipo:* publicación de proyecto

*Fecha de publicación:* junio de 2025

*Idioma original:* Inglés

*Procedimientos de revisión y aseguramiento de la calidad:*

*Revisión final de las Partes:* diciembre de 2024

QA389

*Proyecto:* Plan Operativo 2022 / *Impulso a la conservación de los polinizadores en América del Norte*

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

#### Comisión para la Cooperación Ambiental

1001 boulevard Robert-Bourassa, bureau 1620

Montreal, Quebec, Canadá H3B 4L4

Tel.: 514.350.4300; fax: 438.701.1434

info@cec.org / www.cec.org



COMISIÓN PARA  
LA COOPERACIÓN  
AMBIENTAL

# Índice

<b>Siglas, acrónimos y abreviaturas</b>	<b>iv</b>
<b>Sinopsis</b>	<b>v</b>
<b>Resumen ejecutivo</b>	<b>vi</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>vii</b>
<b>1 Antecedentes</b>	<b>1</b>
<b>2 Definiciones</b>	<b>2</b>
<b>3 Diagnóstico del estado que guardan los avances científicos</b>	<b>4</b>
3.1 El conocimiento sobre la distribución de las abejas se acumula con lentitud	4
3.2 Una herramienta geoespacial ideal para analizar la distribución de las abejas	5
3.3 Herramientas geoespaciales disponibles	8
<b>4 Creación de una herramienta de visualización de datos sobre abejas</b>	<b>12</b>
4.1 Lagunas en la información	13
4.1.1 Registros de museos sin digitalizar: recurso desaprovechado e inversión cuantiosa	13
4.1.2 Estudios contemporáneos: de valor en el ámbito local pero difíciles de aprovechar a escala global	15
4.1.3 Datos procedentes de ciencia comunitaria y ciudadana: amplios, pero a menudo no detallados	16
4.1.4 Conocimiento ecológico tradicional (CET): recurso poco utilizado y mal comprendido	16
4.2 Huecos en el muestreo: lugares a los que no se ha dado prioridad para la realización de sondeos poblacionales o el monitoreo de abejas	17
4.2.1 Áreas poco muestreadas y prioritarias para la realización de investigaciones sobre abejas	18
4.2.2 Otros paisajes prioritarios	25
4.3 Portales de datos: unificación de todos los datos disponibles en un solo lugar	27
4.4 Visualización de datos: ¿qué debe hacer una herramienta geoespacial?	29
4.5 Exportación de datos: ¿cuál es la mejor manera de compartir datos sobre abejas?	31
<b>5 Conclusiones: la importancia de poder visualizar datos georreferenciados sobre las abejas</b>	<b>32</b>
<b>Referencias bibliográficas</b>	<b>33</b>

## **Lista de gráficas**

<u>Gráfica 1. Proceso de análisis de la distribución de las abejas</u>	<u>6</u>
<u>Gráfica 2. Áreas de América del Norte de alta prioridad para el muestreo de abejas nativas a fin de subsanar deficiencias en el conocimiento de la distribución de las especies</u>	<u>19</u>

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

ACA	Acuerdo de Cooperación Ambiental
CCA	Comisión para la Cooperación Ambiental
Conabio	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México
Conanp	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México
ECCC	Ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá (Environment and Climate Change Canada)
Ecosur	El Colegio de la Frontera Sur, México
GBIF	Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (por sus siglas en inglés)
SCAN	Red Symbiota de Colecciones de Artrópodos ( <i>Symbiota Collections of Arthropods Network</i> )
SIG	Sistema de información geográfica
UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos ( <i>United States Department of Agriculture</i> )
USGS	Servicio Geológico de Estados Unidos ( <i>United States Geological Survey</i> )
USFWS	Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos ( <i>United States Fish and Wildlife Service</i> )

## **Sinopsis**

Las especies polinizadoras desempeñan un papel vital en lo concerniente a sostener los ecosistemas naturales y garantizar la seguridad alimentaria. Dada su importante contribución a la reproducción de una parte significativa de las especies cultivadas y las plantas silvestres, su declive poblacional plantea graves amenazas para el medio ambiente y la sociedad. De ahí la urgencia de adoptar medidas proactivas encaminadas a ocuparse con toda eficacia de la conservación de los polinizadores a escala de América del Norte. Especialistas en abejas nativas de Canadá, Estados Unidos y México recurren a una variedad de herramientas geoespaciales que apoyan la toma de decisiones en favor de la conservación de abejas nativas y proporcionan a protagonistas y grupos de interés datos exhaustivos para llevar a cabo acciones de conservación bien fundamentadas. Además de facilitar los esfuerzos de investigación dirigida, estas herramientas contribuyen a sensibilizar a la ciudadanía y propiciar su participación, sobre todo en las áreas identificadas como prioritarias para el monitoreo y la integración de inventarios de abejas nativas. Convocados por la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), especialistas de toda América del Norte unieron fuerzas e intercambiaron conocimientos con el propósito de identificar objetivos comunes de conservación y manejo de abejas nativas para personas y entidades administradoras de tierras, responsables de la formulación de políticas, educadoras, dedicadas a la investigación y el quehacer científico y otras destinatarias clave; explorar las herramientas geoespaciales de que se dispone, así como proponer mejoras al respecto, y crear mapas de distribución de las especies de abejas comunes. El presente trabajo pretende aprovechar la tecnología y los esfuerzos de colaboración a efecto de apuntalar e impulsar las iniciativas para la conservación de los polinizadores en toda la región y, con ello, salvaguardar tan vitales especies en beneficio de las generaciones futuras.

## Resumen ejecutivo

Los polinizadores son fundamentales para la sustentabilidad de los ecosistemas naturales, la seguridad alimentaria y el bienestar humano, ya que contribuyen a la reproducción de una parte importante de las especies cultivadas y la flora silvestre. Sin embargo, el declive de sus poblaciones registrado en todo el mundo, atribuible a muy diversos factores, supone una importante amenaza para el medio ambiente y la sociedad.

En el marco de talleres organizados por la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), especialistas en abejas nativas de Canadá, Estados Unidos y México se propusieron perfeccionar e implementar herramientas geoespaciales para la toma de decisiones destinadas a apoyar a personas y entidades administradoras de tierras, responsables de la formulación de políticas, educadoras, dedicadas a la investigación y el quehacer científico y otras destinatarias clave en la priorización de tareas de inventariado y monitoreo de estas especies polinizadoras. Para ello, identificaron objetivos comunes de conservación y manejo de abejas nativas; exploraron las herramientas geoespaciales disponibles y sugirieron mejoras; crearon mapas de distribución, y determinaron las áreas prioritarias para el monitoreo y la integración de inventarios de abejas nativas.

Con el propósito de fomentar la colaboración a escala de América del Norte, este informe presenta estrategias básicas para impulsar la labor de conservación de los polinizadores en los tres países. Al describir las herramientas disponibles y proponer la elaboración de recursos geoespaciales integrales y fáciles de usar, busca contribuir a un mejor conocimiento de las poblaciones de abejas y facilitar la definición de prioridades para su conservación. Además, destaca la necesidad urgente de actuar para propiciar la salud a largo plazo de las comunidades de polinizadores.

Entre los desafíos reconocidos en la compilación y utilización de datos sobre abejas figuran la necesidad de digitalizar datos históricos; la falta de estandarización de los registros contemporáneos; la capacidad de incorporar datos fidedignos derivados de actividades de ciencia ciudadana, y la integración del conocimiento ecológico tradicional (CET). Como estrategias para hacer frente a estos desafíos, se propone priorizar las tareas de digitalización, incentivar el trabajo taxonómico, reconocer las contribuciones de la ciencia ciudadana y colaborar con las comunidades indígenas.

Con base en el conocimiento y la opinión experta de quienes participaron en los talleres, se identificaron las áreas prioritarias para la integración de inventarios de abejas nativas y la realización de tareas de monitoreo y de conservación en América del Norte, con especial atención en zonas escasamente muestreadas y en regiones que albergan una gran riqueza de especies. A fin de abordar con eficacia estas prioridades, una herramienta geoespacial ideal habrá de buscar recopilar e incluso amalgamar datos procedentes de diversas fuentes; visualizar la presencia de abejas en diferentes escalas espaciales; incorporar datos por espécimen; facilitar el intercambio de datos, y favorecer la participación comunitaria.

## Agradecimientos

Los talleres sobre abejas nativas organizados de octubre de 2022 a abril de 2023 por la CCA contaron con la asistencia de las personas enumeradas a continuación:

\* *Nota:* La afiliación institucional de las personas participantes en los talleres mencionadas en este informe se incluye únicamente con fines de referencia. Cabe señalar que sus contribuciones se realizaron a título personal y profesional en su calidad de especialistas. Los puntos de vista y opiniones expresados en el informe corresponden sólo a las personas participantes y no necesariamente representan las posiciones de las organizaciones a las que están afiliadas.

### *Canadá*

**Greg Mitchell** – ministerio de Medio Ambiente y Cambio Climático de Canadá (*Environment and Climate Change Canada, ECCC*) (integrante del comité directivo del proyecto de la CCA)

**Steve Javorek** – ministerio de Agricultura y Agroindustria de Canadá (*Agriculture and Agri-Food Canada, AAFC*) (integrante del comité directivo del proyecto de la CCA)

**André-Philippe Drapeau Picard** – Insectario de Montreal

**Jennifer Heron** – Ministerio de Protección de Recursos Hídricos, Tierra y Aire de Columbia Británica (*British Columbia Ministry of Water, Land and Resource Stewardship*)

**John Klymko** – Centro de Datos de Conservación del Atlántico Canadiense (*Atlantic Canada Conservation Data Centre*)

**Syd Cannings** – ECCC

### *Estados Unidos*

**James Weaver** – Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos (*US Fish and Wildlife Service, USFWS*) (integrante del comité directivo del proyecto de la CCA)

**Ryan Drum** – USFWS (integrante del comité directivo del proyecto de la CCA)

**Brianne Du Clos** – Universidad de California, Riverside

**Casey Burns** – Oficina de Administración de Tierras (*Bureau of Land Management*)

**Jonathan Koch** – Servicio de Investigación Agrícola (*Agricultural Research Service, ARS*) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (*US Department of Agriculture, USDA*)

**Lora Morandin** – Pollinator Partnership

**Sarina Jepsen** – The Xerces Society for Invertebrate Conservation

**Tamara Smith** – USFWS

**Melanie Kirby** – Instituto de Artes Indígenas Estadounidenses (*Institute of American Indian Arts*)

**Dianna Cox-Foster** – Unidad de Investigación sobre Biología, Manejo y Sistemática de Insectos Polinizadores (*Pollinating Insect Biology, Management, Systematics Research*) del ARS del USDA

**Jon Koch** – Unidad de Investigación sobre Biología, Manejo y Sistemática de Insectos Polinizadores del ARS del USDA

**Hien Ngo** – Centros Científicos de Adaptación Climática (*Climate Adaptation Science Centers*) (USGS) / Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

*México*

**Ignacio J. March Mifsut** – Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp) (integrante del comité directivo del proyecto de la CCA)

**Yosuki Raygoza** – Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio) (integrante del comité directivo del proyecto de la CCA)

**Adrián Ghilardi** – Laboratorio Nacional de Análisis y Síntesis Ecológica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

**Mauricio Quesada** – UNAM

**Ismael Hinojosa Díaz** – UNAM

**Óscar Martínez** – El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur)

**Rémy Vandame** – Ecosur

**Ricardo Ayala** – Instituto de Biología, UNAM

**Javier Quezada** – Universidad Autónoma de Yucatán

**Carlos Aurelio Medina Flores** – Universidad Autónoma de Zacatecas

**Carlos A. Cultid Medina** – Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, Instituto de Ecología, A. C. (Inecol), Centro Regional del Bajío

*Facilitación y coordinación*

**Olivia Carril**

**Kristen Birdshire**

*Comisión para la Cooperación Ambiental*

**Antoine Asselin-Nguyen**

**Nicole Goñi**

## **1 Antecedentes**

Las especies polinizadoras cumplen una función vital para los ecosistemas naturales, la seguridad alimentaria y el bienestar humano, ya que contribuyen a la reproducción de entre 75 y 85 por ciento de las especies cultivables y entre 80 y 90 por ciento de las angiospermas silvestres. El declive de las poblaciones de polinizadores en todo el mundo, como consecuencia de la degradación y pérdida de hábitats, el manejo intensivo de los recursos agrícolas, el uso superfluo de agroquímicos y la presencia de especies invasoras y patógenos, junto con los efectos asociados con el cambio climático, conlleva graves repercusiones para el medio ambiente natural y el bienestar humano, por lo que es vital prestarle atención inmediata. Cada día cobra mayor importancia reconocer los beneficios ambientales, sociales y económicos que los polinizadores aportan a las comunidades, la producción de alimentos y el funcionamiento de los ecosistemas naturales (CCA, 2020). Frente a la considerable pérdida de polinizadores, las iniciativas dirigidas a crear y mantener herramientas eficaces para la toma de decisiones, así como a preparar materiales de comunicación que refuercen el compromiso de los grupos de interés y la participación de las comunidades, sobre todo a escala subcontinental, adquirirán cada vez mayor trascendencia.

La Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) es una organización internacional creada de forma conjunta por Canadá, Estados Unidos y México en términos del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN), tratado ambiental paralelo al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), regida ahora por el Acuerdo de Cooperación Ambiental (ACA). La CCA promueve la colaboración directa y la participación ciudadana con miras a cultivar la conservación, la protección y el mejoramiento del medio ambiente de América del Norte en el contexto de las crecientes redes comerciales, económicas y sociales en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

Valiéndose del trabajo llevado a cabo desde hace mucho tiempo en favor de la mariposa monarca y otros polinizadores, la CCA organizó diversas reuniones en 2019 y 2020 con el objetivo de fortalecer a escala regional la conservación de las especies polinizadoras y garantizar beneficios en el ámbito local. Se buscó detectar las lagunas en el conocimiento sobre los polinizadores y su salud, así como analizar formas de involucrar a las comunidades locales y motivarlas a centrar su atención en iniciativas propicias para estas especies, al tiempo de aportarles información sobre los beneficios ecológicos y socioeconómicos que tales organismos generan. Se constataron importantes lagunas en el conocimiento —en concreto sobre las abejas nativas—, deficiencias y vacíos que deberán abordarse en trabajos futuros.

Continuando con su labor sobre los polinizadores y como parte de su Plan Operativo 2022, la CCA puso en marcha un nuevo proyecto titulado “Impulso a la conservación de los polinizadores en América del Norte” (CCA, 2022). Las colaboraciones en el marco de este proyecto se centraron en intercambiar lecciones adquiridas, mejores prácticas y estrategias orientadas al monitoreo y a la integración de inventarios de abejas nativas. El objetivo estribó en identificar formas de proporcionar a personas y entidades administradoras de tierras y responsables de la toma de decisiones datos más sólidos que permitan fundamentar con mayor eficacia las acciones de conservación en toda América del Norte, para

lo cual se propuso incorporar herramientas nuevas y emergentes que ayudaran a hacer frente a la escasez de datos pertinentes. Además, el proyecto planteó promover herramientas eficaces para la toma de decisiones y materiales de comunicación con miras a contribuir a la integración de inventarios de abejas autóctonas y a una mejor organización y priorización de las actividades de monitoreo a largo plazo, además de sensibilizar a la población sobre la importancia de estas especies polinizadoras. Por último, se buscó también facilitar el ejercicio de la ciencia ciudadana y la participación comunitaria en los tres países.

En total se celebraron cinco reuniones: dos en línea a principios de mayo de 2022; una presencial en octubre de 2022, en Santa Fe, Nuevo México, Estados Unidos; otra en línea en enero de 2023, y una última presencial, en abril de 2023, en Ciudad de México, México. Estos encuentros sirvieron para reunir a especialistas en materia de polinizadores de Canadá, Estados Unidos y México con el propósito de discutir acerca del perfeccionamiento y la implementación de herramientas geoespaciales para la toma de decisiones en favor de la conservación de las abejas nativas, dirigidas a personas y entidades de toda América del Norte dedicadas a administración de tierras, responsables de la formulación de políticas, educadoras, dedicadas a la investigación y el quehacer científico y otras destinatarias clave. Estas herramientas ayudarán a identificar áreas prioritarias para el monitoreo a largo plazo y la integración de inventarios de abejas nativas en cada país, lo que motivará iniciativas de investigación más concretas y aportará datos de mayor pertinencia para orientar tareas de conservación y divulgación y fomentar la curiosidad de la ciudadanía y el involucramiento de las comunidades.

Estas reuniones tuvieron como objetivos las siguientes actividades: 1) identificar la conservación de las abejas y el manejo de las especies nativas como metas para las personas responsables de la formulación de políticas y otras dedicadas a los quehaceres científico y educativo; 2) explorar las herramientas geoespaciales actualmente disponibles que podrían contribuir a la consecución de estas metas; 3) sugerir mejoras de las herramientas geoespaciales; 4) crear mapas de distribución basados en modelos de nicho para las especies comunes de abejas, a fin de potenciar la utilidad de algunas herramientas geoespaciales, y 5) determinar las áreas prioritarias para el monitoreo y la integración de inventarios de abejas nativas (aquellas que contribuirían en mayor medida a la comprensión de la distribución de sus poblaciones).

## **2 Definiciones**

En aras de que todos los participantes tuvieran un marco de referencia común, fue preciso llegar a una comprensión uniforme de los conceptos fundamentales, entre los que se incluyen los siguientes:

**Herramienta geoespacial:** Instrumento cartográfico basado en sistemas de información geográfica (SIG) que ayuda a los usuarios a comprender mejor a las abejas: sus zonas de distribución, áreas de ocupación y abundancia. Con la herramienta pueden mostrarse las tendencias a lo largo del tiempo —en términos de dinámica poblacional— teniendo en cuenta las fuentes de datos subyacentes que proporcionan información específica sobre las abejas (por ejemplo, nombre de la especie, preferencias florales, hábitat de nidificación y fenología) y las

áreas geográficas donde están presentes (ecorregión, clima, uso del suelo, propiedad, hábitat, tipo de suelo, coordenadas del lugar donde se recolectaron los especímenes y otros datos).

**“Puntos calientes”, de elevada biodiversidad o prioritarios (*hotspots*, en inglés):** Áreas de gran riqueza de abejas. Los *puntos calientes* pueden referirse también a zonas donde hay presencia de numerosas especies de interés, incluidas aquellas cuya conservación es motivo de preocupación y las que presentan un alto grado de endemismo. Según reconocieron las personas participantes, los *puntos calientes* dependen de la escala y pueden aparecer o desaparecer en función de la escala a la que se les preste atención. Se señaló, además, que esta designación es relativa: es posible que no se reconozcan los *puntos calientes* como tales si no se han realizado suficientes recolecciones históricas, y que aparezcan en falso como más ricos que el área circundante si han sido objeto de mayores acciones de muestreo. Más aún, los *puntos calientes* dependen conceptual y funcionalmente de la noción inversa de *puntos fríos*.

**“Puntos fríos”, de baja biodiversidad o menos prioritarios (*cold spots*, en inglés):** Áreas caracterizadas por una riqueza reducida de especies. Los *puntos fríos* también pueden definirse como zonas donde ningún esfuerzo de recolección se ha realizado o éstos han sido apenas mínimos. Las personas participantes reconocieron que, dada la posible falta de datos en una herramienta geoespacial, resulta imprescindible actuar con absoluta prudencia a la hora de restar prioridad a zonas que al parecer son *puntos fríos*. Asimismo, es importante tener en cuenta que el término *punto frío* no implica que estas zonas sean de escaso interés o valor por cuanto a conservación.

**Especies amenazadas, en peligro de extinción o con mayor necesidad de conservación:** Los tres países comparten un léxico similar para describir organismos cuyas poblaciones disminuyen o están en peligro. En específico, Canadá y Estados Unidos han reconocido las clasificaciones del estado de conservación de NatureServe, con las siguientes categorías: 1) en situación crítica de peligro, 2) en peligro, 3) vulnerable, 4) aparentemente segura o 5) segura, con base en criterios como la extensión de la zona de distribución, la abundancia, las tendencias poblacionales y las posibles amenazas a que se enfrentan. Canadá reconoce las especies en riesgo con las siguientes clasificaciones, en conformidad con su *Species at Risk Act* (SARA): 1) extintas, 2) que han desaparecido, 3) en peligro de extinción, 4) amenazadas o 5) de preocupación especial, al igual que especies sobre las que no se dispone de datos suficientes y aquellas fuera de riesgo. Con arreglo a la Ley de Especies en Peligro de Extinción (*Endangered Species Act*, ESA), Estados Unidos reconoce las especies incluidas en su lista de alcance federal como: 1) en peligro de extinción, 2) amenazadas, 3) propuestas o 4) candidatas (a ser incluidas en dicha lista). Cada entidad federativa estadounidense cuenta con su propio sistema de clasificación, al igual que muchas de las provincias canadienses. Del mismo modo, México reconoce conforme a su legislación las especies de flora y fauna: 1) extintas, 2) en peligro de extinción, 3) amenazadas y raras, y 4) sujetas a protección especial. En general, los participantes de los tres países están familiarizados con el trabajo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la cual se apoya tanto en especialistas como en un amplio proceso de revisión y todos los datos disponibles para crear una lista roja de especies amenazadas.

**Protagonistas y grupos de interés:** Personas y entidades cuyo trabajo comprende la conservación y el manejo de las abejas desde distintos organismos, sectores, funciones y cargos. En específico, entre ellas figuran: comunidades indígenas; quienes ejercen la agricultura, la horticultura y la agronomía; organizaciones sin ánimo de lucro; responsables de la formulación de políticas en los ámbitos municipal o condal, subnacional (estado, provincia o territorio) y nacional; personas y entidades a cargo de la administración de tierras (con inclusión de quienes dirigen y administran áreas protegidas, se encargan del manejo de cuencas hidrográficas o de la planeación urbana); las dedicadas a la investigación y el quehacer científico en áreas como biología, taxonomía, ecología y conservación; especialistas en especies amenazadas y en peligro de extinción; las dedicadas a la educación y la divulgación; periodistas; especialistas en recursos de inteligencia; urbanistas, y muchas más. Abundan los ejemplos de protagonistas y grupos de interés: productores de moras azules que se interesan en saber más sobre la distribución de la abeja *Habropoda laboriosa* y la idoneidad de los hábitats cercanos a las zonas donde se cultiva este tipo de productos; especialistas en vida silvestre de la Oficina de Administración de Tierras (*Bureau of Land Management*) de Estados Unidos, a cargo de identificar los hábitats que podrían albergar a la especie *Bombus occidentalis*, en declive poblacional; quienes se ocupan del manejo de los recursos naturales del Servicio Nacional de Parques (*National Park Service, NPS*) de Estados Unidos, con interés de elaborar un inventario de las especies de abejas de su unidad; personas dedicadas a la taxonomía en México, que buscan todas las zonas donde puede estar presente un taxón concreto, y aquellas especializadas en zoología de Canadá, cuyo trabajo incluye determinar qué especies de abejas se encuentran en peligro, con base en comparaciones entre distribuciones actuales e históricas.

**Datos estandarizados:** Se refieren a registros de especímenes de abejas generados como resultado de iniciativas tendentes a estandarizar las metodologías utilizadas (es decir, la documentación del trabajo de muestreo), de modo que las personas dedicadas a la ciencia puedan comparar las poblaciones de abejas en zonas más extensas y en el transcurso de muchos años. Para los distintos tipos de registros y conjuntos de datos cartográficos pueden utilizarse estándares internacionales ampliamente probados, como los estándares Darwin Core (DwC), Plinian Core (PliC) y el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF, por sus siglas en inglés).

### 3 Diagnóstico del estado que guardan los avances científicos

#### 3.1 El conocimiento sobre la distribución de las abejas se acumula con lentitud

Desde siempre, los avances en el estudio de las abejas nativas han sido graduales y, en ocasiones, incluso precarios. Durante muchos años, la presencia de estas especies se documentó en listados de localización y mapas estáticos. Gran parte de la información sobre la localización de las abejas, lo mismo antes que en la actualidad, sólo figura en la ficha de una abeja en un museo o en una colección privada,

y es muy posible que nunca se haya introducido en una base de datos digital. Estimaciones recientes sugieren que, de los ocho millones de especímenes de abejas que residen en colecciones de insectos en toda América del Norte, poco más de dos millones (25 por ciento) se han digitalizado (Cheshire *et al.*, 2023). Esta cifra indica que quedan por registrar en formato digital unos seis millones, probablemente concentrados en Estados Unidos. Aun cuando se dispusiera de datos digitales registrados, se plantean problemas de precisión: muchos registros antiguos documentan un nombre de lugar impreciso o que abarca todo un condado o ciudad, lo que dificulta su uso a la hora de asociar abejas con hábitats, poblaciones de plantas o cambios en la distribución.

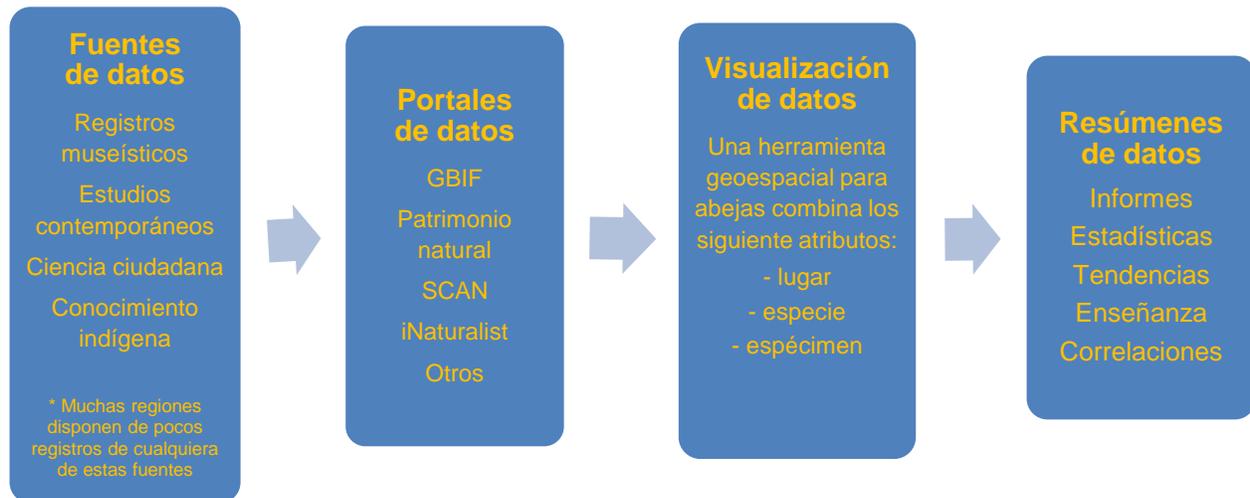
La aparición de herramientas geoespaciales capaces de analizar registros digitalizados de insectos contribuye a una mejor comprensión de las poblaciones de abejas y a que se puedan predecir sus cambios. En el caso concreto de los datos registrados en formato digital y de relativa precisión, se han creado herramientas basadas en sistemas de información geográfica (SIG) que permiten establecer de manera sencilla una correlación entre los registros de presencia digitalizados y las características subyacentes de la zona en la que se encuentra la abeja. De esta forma es posible conocer de manera más clara cuáles son las necesidades de las abejas en cuanto a recursos y hábitat, y su intersección con las actividades humanas (véanse, por ejemplo, Saturni *et al.*, 2016; El Qadi, 2017; Westerfelt *et al.*, 2018; Du Clos *et al.*, 2020; Soroye *et al.*, 2020; Woodard *et al.*, 2020; Zattara, 2021; Orr *et al.*, 2022). La investigación moderna en materia de apifauna suele recurrir a herramientas geoespaciales para fundamentar importantes trabajos relacionados con las abejas, su dinámica poblacional, los servicios ecosistémicos que prestan y su conservación. Capaces de actualizarse al instante en respuesta a los cambios en los sistemas operativos y otras decisiones de gestión, estas herramientas geoespaciales permiten recopilar datos de diversas fuentes e informar con mayor exactitud a los usuarios sobre el estado de conservación y las tendencias de las poblaciones. Por otro lado, estas herramientas permiten superposiciones con otras capas de información para ofrecer una imagen más completa de la distribución, el tipo de hábitat, el grado de funcionamiento del ecosistema y las repercusiones de las principales decisiones de manejo. Y, puesto que se basan en bases de datos relacionales, admiten y almacenan en un solo lugar múltiples tipos de metadatos (por ejemplo, asociaciones con plantas, hábitat y fecha).

### **3.2 Una herramienta geoespacial ideal para analizar la distribución de las abejas**

El proceso de elaborar resúmenes de datos implica varios pasos, empezando por su recopilación de entre todas las fuentes disponibles (incluidos sondeos poblacionales en áreas con escasos registros de abejas) a través de un portal de datos capaz de organizar todos los metadatos asociados. A continuación, ese conjunto de datos se envía a una interfaz de usuario de datos que muestra los registros de abejas superpuestos en mapas que contienen datos geográficos y políticos, además de los ecológicos correspondientes a atributos por espécimen (determinante, sexo de la abeja y fecha de recolección, entre otros). Idealmente, los registros también incluyen atributos por especie (nidificación, dieta, sociabilidad, etcétera), de manera que puedan servir para interpretar la dinámica poblacional de una

especie, su diversidad beta, las áreas objeto de sondeos de poblaciones o aquellas otras en las que las comunidades o especies de abejas enfrentan una mayor amenaza (véase la gráfica 1).

Gráfica 1. Proceso de análisis de la distribución de las abejas



Una herramienta geoespacial ideal y bien diseñada respondería a un conjunto básico de necesidades detectadas por personas dedicadas a la investigación y protagonistas y grupos de interés en la materia, y resultaría de suma utilidad a la mayoría de las personas y entidades usuarias, aun cuando las prioridades de quienes estudian a las abejas puedan ser tan diversas. Entre los objetivos clave tanto de quienes investigan a estos himenópteros como de protagonistas y grupos interesados en dichos estudios, destacan los siguientes:

1. *Identificar las especies en riesgo o amenazadas; dar prioridad a aquellas que deban someterse a evaluaciones nacionales de su estado de conservación, y efectuar un seguimiento de las especies listadas.*

Identificar las especies de abejas cuya conservación está amenazada y suscita preocupación a escalas subnacional y nacional entraña una enorme responsabilidad para buena parte de las personas encargadas de la formulación de políticas. El conocimiento de las áreas donde las especies de abejas de interés son comunes o raras y dónde éstas se encuentran en los límites de sus zonas de distribución ayuda a centrar las tareas de monitoreo, sondeo poblacional y elaboración de informes para poder orientar a quienes formulan las políticas con respecto a cuáles son las especies cuya conservación está más amenazada.

2. *Comprender la zona de distribución de una especie y centrarse en un grupo de abejas concreto.*

Además de centrar la atención en las especies amenazadas o en riesgo, tanto quienes administran tierras como las personas dedicadas al estudio científico de las abejas desean disponer de una herramienta que les ayude a comprender mejor lo que se sabe de determinadas especies. En la actualidad se presta especial atención a los abejorros y su

distribución, dada la importancia de esta información para comprender los efectos de los patógenos, los plaguicidas, el cambio climático y las especies invasoras.

3. *Documentar las áreas de mayor o menor diversidad de abejas.*

Reconocer las áreas donde se ha demostrado una mayor o menor riqueza de especies de abejas resulta importante por diferentes motivos en los distintos países. Por ejemplo, en Estados Unidos, una de las prioridades de las personas administradoras de vastas extensiones de tierra es determinar las áreas de mayor diversidad de abejas o las que encierran una o más especies en particular de interés, de modo que se pueda dar prioridad a esas áreas para iniciativas de conservación o restauración. Por otra parte, el uso del rango de distribución de las especies para identificar “puntos fríos” donde parece haber una menor diversidad de abejas, ya sea por falta de actividades de muestreo o por una depresión natural de su diversidad, ayudaría a quienes trabajan en México a determinar en qué estados y áreas protegidas nacionales deben realizarse sondeos poblacionales o priorizarse medidas de conservación. En Canadá, documentar las zonas de distribución de las especies facilita la identificación de áreas donde es posible encontrar abejas amenazadas o en riesgo. Por último, los mapas de distribución de especies complementan las acciones encaminadas a establecer protocolos estandarizados de monitoreo a largo plazo de las abejas, con lo que se obtienen datos estadísticamente robustos.

4. *Crear listas para áreas protegidas, provincias, territorios, estados u otras unidades terrestres.*

Las listas que incluyen datos de presencia e, idealmente, de abundancia revisten una enorme importancia y utilidad para que las personas responsables de administrar tierras, formular políticas o impartir educación y otras puedan determinar qué especies de abejas merecen mayor atención en un área determinada. Estas listas facilitan también la identificación de polinizadores potenciales de especies vegetales raras, así como de especies de abejas no nativas, y sirven de base para elaborar guías de identificación de las abejas comunes de una región. Asimismo, estos listados ayudan a que personas educadoras involucren a las comunidades locales en el conocimiento de las abejas que habitan en su entorno.

5. *Establecer una conexión de las abejas con sus asociaciones florales, edáficas y de hábitat de un área determinada.*

Comprender la estrecha relación que las abejas guardan con el entorno que las rodea contribuiría a minimizar la pérdida de hábitats, de la misma manera que identificar los recursos florales importantes —sobre todo las especies vegetales utilizadas por especialistas florales— y determinar las preferencias de suelo y nidificación puede ayudar a guiar las iniciativas encaminadas a mantener las comunidades de abejas en las zonas de interés.

6. *Establecer asociaciones con amenazas (presentes o emergentes) en el paisaje y utilizar estos datos para ayudar a predecir o modelizar las amenazas y las respuestas de las especies.*

Las evaluaciones ambientales de sitios suelen basarse en gran medida en el reconocimiento de las amenazas a diversos organismos; en este sentido, la capacidad de modelizar la salud de los polinizadores en estas zonas aportaría beneficios a un gran número de personas responsables de la administración de tierras. Para ello es necesario evaluar la amenaza de apiarios, paneles solares y líneas de transmisión, así como los efectos de actividades de clareo y quema, además

de otras categorías de amenazas descritas en el [esquema de clasificación de amenazas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza \(UICN\)](#).

Sin estar necesariamente concebida para conseguir objetivos concretos, una herramienta que resulte útil para abordar el tema de las abejas buscará también lo siguiente:

7. *Facilitar la evaluación de las tendencias espaciotemporales de las poblaciones de abejas.*

Lo ideal sería utilizar una herramienta geoespacial para visualizar o evaluar los cambios de las poblaciones de abejas a lo largo del tiempo y el espacio en relación con los cambios históricos y pronosticados de las condiciones ambientales.

8. *Ser exhaustiva en los datos que abarca.*

Los contenidos con los que la herramienta funcione deberán provenir todos los datos digitalizados disponibles, y ésta deberá asociarse a iniciativas para añadir nuevos datos no digitalizados. Asimismo, habrá de incluir tantos metadatos como sea posible, incluidas las fechas de recolección, la precisión de la ubicación y los datos sobre las flores asociadas. La herramienta también deberá permitir predecir la presencia de especies en función de su relación con el clima, el hábitat y los recursos florales.

9. *Admitir la posibilidad de descargar los registros filtrados para realizar análisis adicionales “sin conexión”.*

Habida cuenta de las múltiples formas en que las distintas partes interesadas pueden utilizar los datos con referencias geoespaciales, la capacidad de clasificarlos de forma rápida y eficaz, en función de objetivos específicos o aspectos geográficos, potenciará en última instancia el uso de cualquier herramienta geoespacial y la accesibilidad de sus datos.

### 3.3 Herramientas geoespaciales disponibles

En la actualidad, una gran cantidad de herramientas geoespaciales facilitan y enriquecen los estudios sobre abejas y las iniciativas para su conservación. Como indican las numerosas aplicaciones creativas y la diversidad de herramientas geoespaciales de que se dispone hoy en día (véase *infra*), el potencial para contribuir a la investigación sobre las abejas mediante la interconexión de metadatos con registros de localizaciones de abejas es inmenso. Los resultados de un cuestionario realizado entre los empleados de la Oficina de Administración de Tierras (*Bureau of Land Management*, BLM) de Estados Unidos, presentado en los talleres organizados por la CCA, mostraron que personas dedicadas a la biología de la vida silvestre y profesionales de la conservación utilizan herramientas geoespaciales para identificar lugares en los que se ha documentado la presencia de especies en riesgo de extinción, como el caso del abejorro *Bombus affinis*. Asimismo, esas herramientas se están utilizando para determinar dónde pueden requerirse permisos y consultas en virtud de leyes sobre especies amenazadas o en peligro de extinción o disposiciones similares para especies protegidas y ayudar a priorizar áreas destinadas a actividades de conservación adicionales, como sondeos poblacionales, manejo de hábitats e investigación. Las herramientas geoespaciales también se utilizan para sensibilizar y mostrar a la ciudadanía y a protagonistas y sectores con interés en la conservación qué tanto se ha trabajado (o no) para comprender las poblaciones de abejas en una región concreta. Así, por ejemplo, es posible capturar

y visualizar rápidamente áreas con mayor o menor diversidad biológica para su evaluación sistemática. Las personas dedicadas a la biología de campo las utilizan para identificar los lugares exactos (georreferenciados) donde se ha registrado la presencia de determinadas especies; determinar lo que se sabe actualmente sobre dicha presencia en específico, y planificar futuros sondeos poblacionales. Asimismo, para quienes trabajan en investigación en los sectores agrícola y de recursos naturales, las herramientas geoespaciales resultan de utilidad en la identificación de las especies de abejas que pudieran encontrarse en las proximidades de los campos de cultivo, y a las personas especializadas en taxonomía y sistemática, les sirven para solucionar problemas relacionados con la definición de las especies. Por último, dichas herramientas son utilizadas por quienes se dedican al estudio científico de las abejas para probar modelos que las correlacionan con el clima, la cobertura terrestre, los cambios en el uso del suelo o la estructura del paisaje, el suelo y las comunidades vegetales.

En la actualidad existen múltiples herramientas para estudiar la distribución y la población de las abejas, pero muchas tienen una finalidad localizada o singular. Podría decirse que las herramientas geoespaciales se han convertido en elementos inherentes al estudio contemporáneo de las abejas de América del Norte. Si bien existe una variedad de herramientas, cada una de éstas se adapta a las necesidades de determinados grupos de interés y sus objetivos. Lo ideal sería que una herramienta central —o unas cuantas solamente— pudiera resolver las necesidades de la mayoría de quienes estudian las abejas, sean cuales sean sus objetivos. A continuación se ofrece un resumen de las herramientas disponibles en la actualidad, creadas para satisfacer las necesidades de determinadas personas dedicadas a la investigación y la administración de tierras. Conviene señalar que no se trata de una lista de portales de datos, sino de una relación de las herramientas disponibles que permiten visualizar los registros de abejas a partir de la información extraída de un portal de datos.

1. [North American Bee Distribution Tool](#) [Herramienta de América del Norte sobre Distribución de las Abejas]. Desarrollada con Power BI y gestionada activamente por el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de Estados Unidos (*US Fish and Wildlife Service, USFWS*), la “Bee Tool” recoge datos actualizados del sistema GBIF (incluidos los procedentes de iNaturalist): a la fecha, este portal asimila y muestra gráficamente datos de 2.92 millones de registros y documenta 4,225 taxones de abejas de todo Canadá, Estados Unidos y México. Con su sólida base de amplios datos georreferenciados, la herramienta incorpora una interfaz gráfica de usuario intuitiva para atender de forma potente y eficaz las necesidades de las personas usuarias. Principalmente, además de permitir ver todos los registros de presencia de abejas tanto a escala subnacional como nacional, la herramienta ofrece un mapa interactivo que puede actualizarse rápidamente mediante sencillos menús desplegados y visualizarse en distintas escalas para afinar el resultado de preguntas puntuales. En específico, la herramienta contiene datos de la Agencia de Protección Ambiental (*Environmental Protection Agency, EPA*) de Estados Unidos, de modo que sus usuarios pueden seleccionar las abejas por ecorregiones (es decir, niveles I, II y III). Además, incluye gráficos circulares interactivos que muestran los porcentajes de especies en cada una de las clasificaciones de [NatureServe](#), lo que permite a las personas usuarias seleccionar las especies con mayor necesidad de conservación y mostrarlas en el mapa principal. También es posible seleccionar determinadas especies de abejas por parcelas correspondientes a los principales organismos gubernamentales de

Estados Unidos (por ejemplo, el Servicio Forestal, el Servicio de Pesca y Vida Silvestre, el Servicio Nacional de Parques y la Oficina de Administración de Tierras), y esta funcionalidad podría extenderse fácilmente a Canadá y México. La herramienta también incorpora filtros para la fecha de recolección u observación, así como información fenológica, y se pueden exportar registros digitales detallados (es decir, conjuntos de datos) sobre las especies de abejas documentadas en determinadas unidades terrestres o ecorregiones.

2. [Bees of Mesoamerica](#) [Abejas de Mesoamérica]. Para analizar las distribuciones y tendencias poblacionales de las especies de abejas en Mesoamérica, se digitalizaron registros de museos, colecciones privadas y universidades, y se introdujeron en una herramienta cartográfica. Desarrollada con la colaboración de Ricardo Ayala y Rémy Vandame, esta herramienta incluye 335,000 registros generados a partir de 1842 y hasta el presente.
3. [Explorador de cambio climático y biodiversidad](#). Creada por Adrián Ghilardi, esta herramienta muestra información climática para regiones de México, como temperaturas —real y prevista— y porcentajes regionales de fragmentación del hábitat.
4. [Barómetro de la Conservación de la Biodiversidad](#). Esta herramienta, también concebida por Adrián Ghilardi y sus colegas, presenta de forma exhaustiva información sobre diversas unidades terrestres, incluidos el porcentaje y el tipo de cobertura del suelo, los cambios en la cubierta arbórea y la cubierta vegetal a lo largo del tiempo y los grados de conservación de los ecosistemas.
5. [Bumble Bee Atlas](#) [Atlas de abejorros]. Estos mapas, elaborados por la Xerces Society, se basan en datos obtenidos en el marco de actividades de ciencia comunitaria utilizados para rastrear y monitorear de modo específico a los abejorros y ayudar a su conservación. Según Sarina Jepsen, las personas participantes y voluntarias adoptan un cuadrado de una cuadrícula establecida que se superpone a un estado o región, y realizan un sondeo poblacional sistemático de abejorros a partir de fotografías y métodos de captura y liberación. Los mapas interactivos incluyen numerosas observaciones desde el litoral del Pacífico hasta el sur de Canadá, de costa a costa. Las Grandes Llanuras son también objeto de numerosos estudios, pero las regiones al este del río Misisipi, la Gran Cuenca y los desiertos cálidos de América del Norte están relativamente poco representados.
6. [BeeBDC](#). Recientemente se creó un nuevo paquete R que contiene un conjunto de datos de trabajo de registros “depurados” de especímenes de abejas de los principales repositorios públicos (Dorey *et al.*, 2023). Los registros depurados se refieren a aquellos donde se han sincronizado los nombres de las especies con los nombres taxonómicos actuales de las abejas, los nombres de los países y las fechas de recolección, y los especímenes se han clasificado según la calidad y la precisión del registro asociado a la abeja.
7. [Rusty Patched Bumble Bee Maps](#) [Mapas de abejorros de manchas rojizas (*Bombus affinis*)]. Este mapa de zonas de alto potencial se generó a partir de un modelo ArcGIS con la participación de Tamara Smith, Steven Choy y otras personas especialistas en biología del USFWS. El mapa interactivo disponible al público muestra diferentes capas que destacan dónde es más probable que se encuentre *Bombus affinis* con base en registros de presencia recientes y el movimiento previsto por varios tipos de cobertura del suelo. Los datos incorporan información sobre la localidad, así como registros de observación detallados, como el último

año en que se observó este abejorro. Un segundo mapa (el “mapa cuadrulado”) permitió priorizar los sondeos poblacionales y otras labores de conservación.

8. [Abeilles citoyennes](#) [Abejas ciudadanas]. Este proyecto de ciencia comunitaria, elaborado por el Laboratorio Fournier de la Universidad Laval de Quebec en colaboración con el Insectario de Montreal, tiene por objeto inventariar abejas y moscas de las flores o sírfidos en todo Quebec. Para ello se colocan trampas durante un periodo de 24 horas una vez al mes, de mayo a septiembre, y las abejas y moscas de las flores recolectadas se envían a especialistas en taxonomía, quienes identifican los especímenes e introducen los datos en una base de datos georreferenciada. La información del mapa incluye el nombre de la especie y el número de ejemplares de cada propiedad muestreada (Rondeau *et al.*, 2023).
9. [Pollinators of British Columbia](#) [Polinizadores de Columbia Británica]. Esta herramienta muy fácil de usar, creada por Laura Melissa Guzmán y colaboradores, y presentada por Lora Morandin, permite a personas amantes de la naturaleza y aficionadas descubrir asociaciones entre plantas regionales y comunidades de polinizadores en Columbia Británica. La sencilla interfaz de menús desplegable de la herramienta permite a quienes la utilicen seleccionar características de interés específicas, como abundancia de polinizadores, plantas nativas frente a no nativas y tipo de planta.
10. [Bee Mapper](#) [Cartografía de Abejas]. Creada por Brianne Du Clos específicamente para productores de moras azules, esta herramienta elabora mapas de la presencia de abejas alrededor de los campos de cultivo de dichos frutos en dos niveles que corresponden a las distancias de vuelo de las abejas pequeñas (~250 metros) y de las abejas grandes (~900 metros). Además, incorpora capas que representan la cobertura del suelo y la abundancia prevista de abejas nativas, lo que permite a los agricultores visualizar de forma digital los polinizadores más comunes de la zona y sus recursos de hábitat asociados.
11. [Discover Life](#). Este sitio web comprende una serie de herramientas concebidas para especialistas en abejas. A partir de datos del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad ([GBIF](#)), reconocido repositorio de datos que contiene registros de museos, proyectos y universidades de Canadá, Estados Unidos y México, así como de conjuntos de datos históricos publicados, Discover Life genera mapas interactivos y con diversas capas que permiten explorar los datos con mayores detalles y a escalas más finas a medida que se aumenta el acercamiento. Por último, se puede acceder al registro por especímenes, incluida su fenología y los datos exactos de su ubicación. Para cada especie también se incluyen datos sobre las plantas conocidas, así como fotografías del insecto en cuestión. Discover Life también ofrece claves interactivas para identificar especímenes, aunque en el caso de las abejas se presta más atención a las especies orientales de Canadá y Estados Unidos que a las occidentales, mexicanas o del noroeste de Canadá.
12. [NatureServe](#). Sitio web en expansión que reúne toda la información conocida sobre organismos —no sólo abejas— y su estado de conservación. Las amenazas se registran a partir de una exhaustiva revisión bibliográfica, así como estimaciones de presencia e información sobre el ciclo biológico y la viabilidad de sus poblaciones.
13. [iNaturalist](#). Esta herramienta de ciencia ciudadana y comunitaria en línea para la documentación fotográfica georreferenciada de organismos vivos recoge más de dos millones

de observaciones de abejas de todo el mundo. Además, documenta la localización y fenología, y permite a las personas usuarias opinar sobre el nombre de una especie, lo que aumenta exponencialmente el poder de la herramienta al permitir que más de unas cuantas personas con conocimientos especializados ayuden en la identificación; en cierto sentido, parte del cuello de botella taxonómico que afecta las tareas de inventariado y monitoreo científico se reduce gracias a esta herramienta. Entre las opciones que la misma ofrece figura la creación de atlas para distintas regiones geográficas o épocas del año, con el inconveniente de que, dado que las observaciones se basan en fotografías, no es posible identificar con precisión las especies de algunos individuos pequeños, y se carece de material de referencia. En México, [iNaturalistMX](#) (Naturalista) ofrece un servicio similar, que permite a quienes la utilizan compartir sus propias observaciones, al tiempo de aprender de las observaciones e información sobre historia natural aportadas por otras personas y compiladas por y para la herramienta.

Existen otras herramientas de captura de datos a menor escala. Por ejemplo, el sitio web [Bees of Canada](#) [Abejas de Canadá] es un portal de información sobre la distribución, la historia natural, incluidos los hospederos florales y las preferencias de nidificación, entre otros datos. [Bugguide.net](#) también es una herramienta útil para resumir la información sobre la historia natural de especímenes polinizadores e interactuar con una comunidad de personas aficionadas de los insectos; el sitio reúne información sobre la historia natural de forma fácil de usar, pero la visualización de datos, en términos de cartografía de la distribución de las abejas, es rudimentaria, en el mejor de los casos. Asimismo, [iDigBees](#) es una iniciativa de colaboración destinada a hacer accesibles los datos de la base de datos SCAN únicamente (véanse los portales de datos, *infra*) en una plataforma geoespacial.

Aunque existen muchas aplicaciones útiles, en opinión de personas investigadoras, científicas, responsables de la formulación de políticas y demás protagonistas y grupos de interés, las herramientas geoespaciales de que se dispone en la actualidad, en general, son limitadas y, lo más importante, obligan a quienes se dedican a la investigación a recurrir a una diversidad de herramientas para alcanzar un mismo objetivo. Una única herramienta geoespacial integral, diseñada teniendo en cuenta las necesidades de las partes interesadas, serviría para alcanzar muchos objetivos fundamentales. Modificando una herramienta ya disponible o extrayendo elementos de distintas aplicaciones ya existentes, se podría aumentar en gran medida la utilidad de este tipo de análisis.

## **4 Creación de una herramienta de visualización de datos sobre abejas**

Una herramienta geoespacial de extensa aplicabilidad dependerá de un portal de datos sólido que se nutra de todos los datos disponibles y proporcione resúmenes de datos significativos, escalables y prudentes (véase la gráfica 1). Cada uno de estos elementos (fuentes, portales, visualizaciones y resúmenes de datos) conlleva una serie de desafíos. A continuación se analiza cada uno de estos elementos, se destacan los desafíos presentes y se proponen algunas soluciones.

## 4.1 Lagunas en la información

Uno de los problemas de las actuales herramientas geoespaciales sobre abejas es que muchos registros carecen de los datos necesarios para generar la visualización. Para que una herramienta geoespacial funcione de forma óptima, es fundamental contar con una base de datos sólida de registros de presencia de abejas. Como mínimo, un registro que aporte información para cualquier forma de visualización de datos sobre abejas debe incluir el nombre de la especie —o género— y las coordenadas geográficas u otro dato sobre su localización. En el mejor de los casos, el registro del espécimen incluirá también la fecha y, si la hubiere, la planta asociada a la abeja en el momento de la captura. Hay dos razones que explican la insuficiencia de datos: en primer lugar, podrían haberse registrado y existir de alguna forma, sin que se hayan puesto a disposición para emplearse en herramientas digitales de visualización de datos; el segundo motivo es que extensas franjas de América del Norte continúan estando muy poco estudiadas, e incluso si se tomaran en consideración todos los datos de que se dispone en la actualidad, estas áreas seguirían careciendo de información sobre las abejas. A continuación se aborda cada una de estas situaciones.

En la actualidad existe un sinnúmero de registros de abejas sin aprovechar, a los que la comunidad científica no tiene acceso. Éstos se pueden agrupar en una de las cuatro categorías siguientes. Aunque se dispone de más de dos millones de registros únicos para el análisis de abejas a escala de América del Norte, es probable que esta cifra represente menos de una cuarta parte de todos los datos que existen por espécimen (Cobb *et al.*, 2019; Chesshire *et al.*, 2023). A grandes rasgos, los datos no publicados pueden clasificarse en una de estas cuatro categorías.

### 4.1.1 Registros de museos sin digitalizar: recurso desaprovechado e inversión cuantiosa

Los datos históricos representan un vasto tesoro de información sobre abejas, pero sólo se ha digitalizado una pequeña parte. Los registros históricos corresponden a colecciones de insectos privadas o cuyo mantenimiento está a cargo de universidades, museos, parques naturales y entidades locales, estatales o provinciales y del orden federal (en Estados Unidos, por ejemplo: organismos responsables de parques nacionales, servicios de investigación agrícola y el USFWS, entre otros). Los especímenes que conforman estas colecciones pueden ser el resultado de expediciones, estudios financiados, proyectos estudiantiles o de la recolección oportunista de personas especializadas en entomología o simplemente amantes de los insectos. Por lo tanto, los datos históricos se refieren a los muchos millones de especímenes recolectados y almacenados, pero nunca documentados digitalmente. Cobb *et al.* (2019) enumeran 223 colecciones de insectos en América del Norte.

Existen numerosos desafíos y limitantes para digitalizar estos registros, incluidas las dificultades asociadas con un financiamiento bastante restringido y cada vez menor, sobre todo casos de fondos destinados a proyectos específicos y que, por lo tanto, no cubren los recursos necesarios para solventar tareas de mantenimiento a largo plazo de las bases de datos o de conservación de los especímenes mismos. Más aún, en Estados Unidos, los datos históricos sólo están disponibles para herramientas geoespaciales si se asocian directamente con la entidad desarrolladora de la herramienta, o cuando se cargan en un servidor de acceso público que almacena datos generados por distintos usuarios. Sin embargo, una de las dificultades radica en que para cargar información en servidores de acceso público

suelen precisarse acreditaciones difíciles de obtener para quienes no pertenecen a una institución gubernamental o académica.

Por otra parte, a la gran cantidad de registros no digitalizados se suma una limitante adicional: muchos especímenes recolectados y conservados no han sido identificados por especie, de manera que antes de poder proceder a la digitalización de sus registros se requiere un paso adicional —su identificación taxonómica precisa—, lo cual significa una complicación que se ve agravada por la escasez de taxonomistas, problemática que de por sí afecta ya a varios proyectos e iniciativas en curso.

Los registros más antiguos rara vez representan una recolección sistemática de una zona, por lo que pueden aparecer como puntos dispares cuando se trazan en un mapa o, debido a que la información sobre la localidad es vaga, no representan un conocimiento detallado del lugar donde se encontró la abeja. Aquellos que son fruto de una recolección sistemática emplean a menudo metodologías diferentes de una región a otra, por lo que sólo son comparables para los análisis cuantitativos dentro de la región de recolección o cuando se utilizaron métodos de muestreo similares. Más aún, aunque se digitalizaran todos los registros históricos, quedan grandes zonas de América del Norte en las que los muestreos de cualquier tipo se han realizado con tan poca frecuencia que no aportan información.

**Entre las estrategias consideradas para incorporar más datos históricos se cuentan las siguientes:**

1. **Priorizar el apoyo prestado a la identificación y digitalización de grandes colecciones pertenecientes a instituciones con fondos insuficientes** para incorporar todos los registros existentes es una posible solución, aunque probablemente requeriría una importante contribución monetaria.
2. **El uso de nuevos portales de datos, como la incipiente Red de Conocimiento sobre Polinizadores (*Pollinator Knowledge Network*) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (*US Department of Agriculture, USDA*)** podría simplificar la carga de datos, en comparación con portales más comunes, como la plataforma GBIF.
3. **El empleo de modelos de nicho para representar las zonas de distribución de las abejas con mayor precisión**, con los datos de que disponemos hoy en día, permitiría minimizar los desafíos que plantean las zonas insuficientemente muestreadas, si se utilizan técnicas informáticas para analizar las variables ambientales y datos sobre la presencia de las especies de modo que se puedan predecir sus distribuciones y subsanar las lagunas que afectan la comprensión que se tiene de las distribuciones de las abejas, sobre todo en las regiones donde apenas se recaban datos.
4. **Incentivar la identificación de especímenes de museo carentes de nombre o no identificados en distintas colecciones** contribuiría a aumentar el número de registros que podrían introducirse (véase la descripción sobre registro de metadatos en el apartado 4.3).
5. **Es preciso hacer hincapié en realizar futuras recolecciones en zonas donde el muestreo resultaría más beneficioso para comprender mejor la dinámica poblacional o la distribución de las abejas.**

#### 4.1.2 Estudios contemporáneos: de valor en el ámbito local pero difíciles de aprovechar a escala global

Los registros contemporáneos suelen adherirse en mayor medida a estándares establecidos, sobre todo en comparación con los conjuntos de datos más antiguos; sin embargo, presentan increíbles variaciones en los métodos de estandarización aplicados. En la medida en que se comprende cada vez más el valor de la estandarización en el plano nacional, o incluso mundial, van surgiendo técnicas de recolección de datos que podrían aplicarse de manera metódica en extensas regiones. Así, la estandarización de los datos será un componente cada vez más integral de la futura investigación sobre abejas y de las bases de datos que almacenen el conocimiento generado. En ese sentido, por ejemplo, cabe esperar que los datos estandarizados incluyan registros tanto de ausencia como de presencia, lo que los haría únicos —y también ricos en información— en comparación con otras fuentes de información.

Ahora bien, es importante tener presente que, desde un punto de vista geoespacial, los métodos estandarizados de recolección de datos podrían retrasar o limitar el acceso a información valiosa sobre la distribución de las especies de abejas, en comparación con un registro más “oportunista” que brinde una mayor flexibilidad para recoger datos en lugares adyacentes con más recursos. Otro aspecto a considerar es el significativo impedimento de carácter taxonómico; es decir, los desafíos y limitaciones inherentes a la clasificación e identificación precisas de las especies de abejas, obstáculo que entorpece el intercambio oportuno de datos y el conocimiento exhaustivo de sus poblaciones.

##### **Algunas estrategias dirigidas a incorporar datos más recientes:**

1. La Red Nacional de Coordinación de la Investigación para el Monitoreo de Abejas Nativas (*Research Coordination Network, RCN*) de Estados Unidos trabaja en la elaboración de una estrategia estandarizada para la recolección y almacenamiento de datos sobre abejas que, idealmente, ayudaría a respaldar las tareas de visualización de datos.
2. La Oficina de Administración de Tierras (*Bureau of Land Management*) de Estados Unidos, máxima autoridad federal en materia de gestión de tierras, tiene en curso de elaboración un protocolo estandarizado que se ajusta a los objetivos generales de la RCN sobre conservación de las abejas.
3. Fondos adicionales para especialistas en taxonomía de las abejas y la creación de nuevas herramientas de identificación ayudarían, en gran medida, a ampliar el cuello de botella taxonómico. Existe la esperanza de que la tecnología del ADN ambiental (eDNA, por sus siglas en inglés) ayude a resolver gran parte de los problemas taxonómicos, pero por el momento es costosa y las bibliotecas de ADN están incompletas. La participación de taxonomistas sigue revistiendo crucial importancia para confirmar las identificaciones y mantener la precisión del ADN de referencia.

#### 4.1.3 Datos procedentes de ciencia comunitaria y ciudadana: amplios, pero a menudo no detallados

Los datos obtenidos gracias a actividades de ciencia ciudadana o comunitaria son increíblemente fáciles de generar por cualquiera que disponga de una cámara o un teléfono, lo que aumenta sobremanera el número de muestras que pueden registrarse en una zona. Se trata de registros generados por personas naturalistas aficionadas que suelen subir fotografías a sitios web como iNaturalist, Naturalista y BugGuide.net, lo que permite a otras ayudar en la identificación y conservar las fotos y sus metadatos. Además, estos registros proceden, por lo general, de trabajo voluntario, por lo que las necesidades de recursos para la identificación de abejas en campo son mínimas. Sin embargo, algunas especies de abejas requieren un examen microscópico para su identificación precisa, y las fotografías por sí solas pueden no ser suficientes.

Al tratarse de registros fotográficos, no es habitual disponer de especímenes físicos asociados a estos datos. Así pues, aunque los datos recogidos en el marco de actividades de ciencia ciudadana son adecuados para cartografiar la distribución de especies de interés fácilmente identificables, pueden ser menos específicos y quizá menos precisos en el caso de especies cuya identidad puede ser difícil o imposible de determinar a partir de fotografías. Por otro lado, estos sitios dependen de la valiosa experiencia de un reducido número de taxonomistas capaces de identificar abejas a partir de fotografías, basándose en su conocimiento de la morfología macroscópica de la abeja y de sus zonas de distribución y fenología más probables.

#### **Ejemplos de estrategias para incorporar más datos procedentes de la ciencia comunitaria y ciudadana:**

1. Los registros obtenidos a partir de labores de ciencia comunitaria o ciudadana deben etiquetarse como tales en las bases de datos que se nutren de múltiples ubicaciones, y debe existir la opción de filtrarlos. Para las personas usuarias que necesiten una mayor precisión de los datos, es fundamental que exista la posibilidad de filtrar estos registros.
2. Las personas especialistas en taxonomía capaces de identificar ejemplares de abejas a partir de fotografías deberían recibir un reconocimiento en las publicaciones derivadas de bases de datos de ciencia ciudadana. El tiempo y el esfuerzo dedicados a la identificación de abejas en línea son extraordinarios, y debería haber incentivos para que no se abandone tan tedioso trabajo.
3. Quienes practican la afición por la naturaleza también podrían participar en la recolección de especímenes en el marco de estrategias híbridas de ciencia ciudadana como la iniciativa [Abeilles citoyennes](#) [Abejas Ciudadanas] de la Universidad Laval de Quebec, Canadá, o el programa [Oregon Bee Atlas](#) [Atlas de Abejas de Oregón] del programa Master Melittologist [Melitólogo Maestro] de la Universidad Estatal de Oregón.

#### 4.1.4 Conocimiento ecológico tradicional (CET): recurso poco utilizado y mal comprendido

Las tierras de los pueblos indígenas y tribales suelen albergar grandes comunidades de abejas escasamente documentadas.

“El conocimiento ecológico tradicional es la acumulación permanente de conocimientos, prácticas y creencias sobre las relaciones entre los seres vivos de un ecosistema concreto,

adquiridos por los pueblos indígenas a lo largo de cientos o miles de años mediante el contacto directo con el medio ambiente, transmitidos de generación en generación y utilizados para preservar la vida” (National Park Service, 2023).

Trabajar con las Primeras Naciones y las comunidades indígenas para incorporar no sólo su conocimiento histórico en torno a las abejas que protegen, sino también los datos que puedan registrar en adelante, resultará imprescindible si se quiere adquirir un conocimiento cabal de las poblaciones de abejas a escala de América del Norte. En Estados Unidos, las tierras de los pueblos indígenas ocupan 227,000 km<sup>2</sup>, superficie similar a la del estado de Idaho; en Canadá, las comunidades indígenas resguardan 6.3 por ciento de la superficie total del país, y aunque México no tiene tierras ni reservas tribales, casi 10 por ciento de la población mexicana se identifica como indígena, y en 6 por ciento de los hogares reside una persona que habla una lengua autóctona. Además, la población indígena mexicana se concentra en muchas de las zonas del país donde se encuentra la mayor riqueza de especies de abejas.

El paradigma de las comunidades indígenas puede no coincidir con los mismos supuestos de la ciencia occidental. Por ejemplo, el concepto de *especie* se interpreta de forma diferente entre las personas científicas con formación universitaria y las comunidades indígenas asentadas en algunas regiones de México y, por lo tanto, el concepto de biodiversidad también puede definirse de forma diferente en estos lugares.

**Estrategias para una mejor incorporación del conocimiento ecológico tradicional:**

1. Trabajar con las comunidades indígenas requerirá entablar conversaciones reflexivas entre partes que realmente tengan la disposición de considerar distintas perspectivas sobre el uso del suelo y la conservación de los polinizadores. A tal efecto, quizá se requiera ampliar el léxico relativo a los especímenes de abejas en bases de datos que incluyan el conocimiento ecológico tradicional.
2. Deben realizarse esfuerzos encaminados a asegurar que la inclusión de nombres indígenas en las bases de datos digitales de abejas se realice en consulta con las propias comunidades indígenas y respete sus prácticas culturales y sistemas de conocimiento. Este enfoque colaborativo puede enriquecer las bases de datos con una diversidad de perspectivas y fomentar el entendimiento y el respeto mutuos.

## 4.2 Huecos en el muestreo: lugares a los que no se ha dado prioridad para la realización de sondeos poblacionales o el monitoreo de abejas

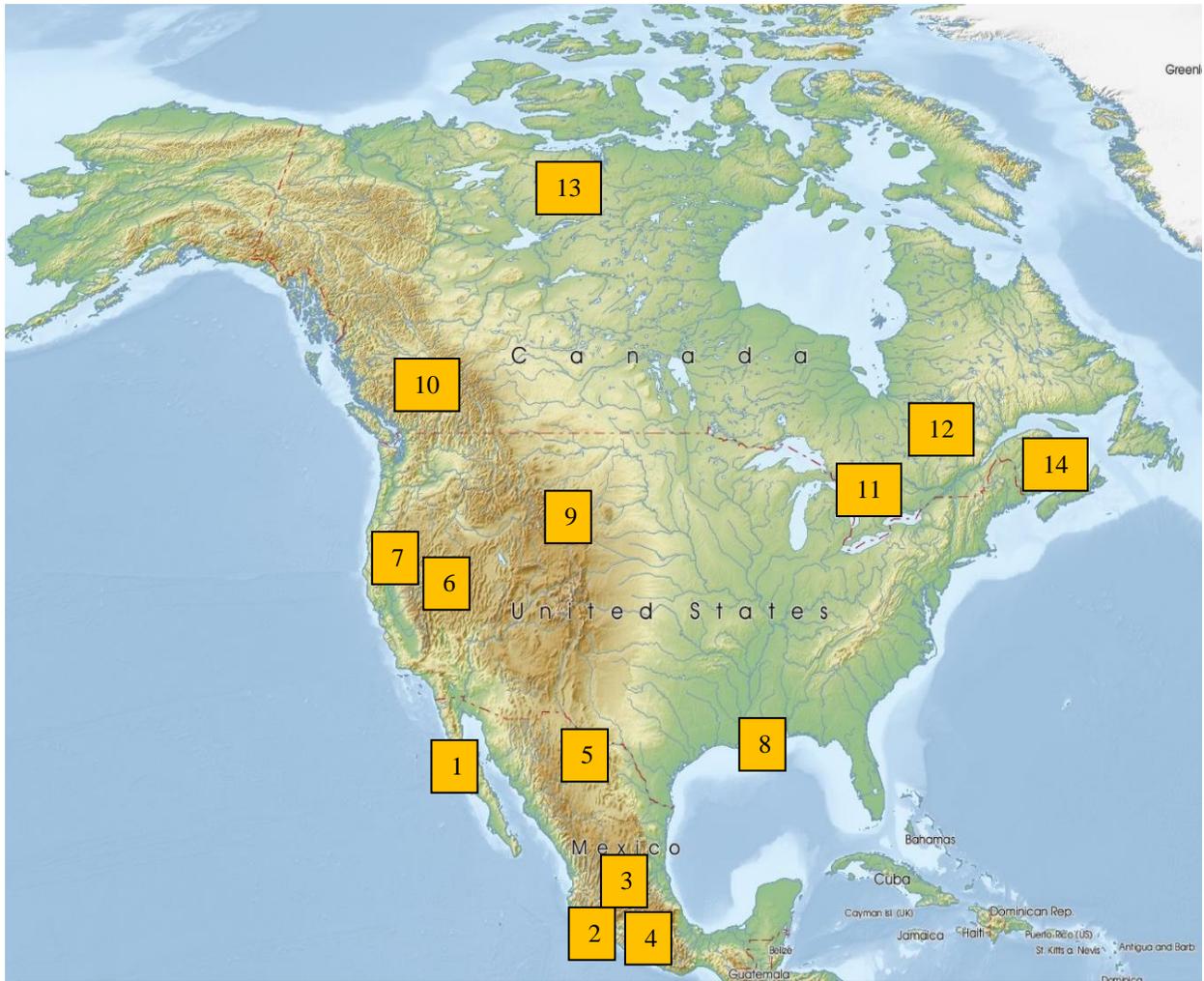
Incluso si se documentasen todos los ejemplares que hay y esta documentación se pusiese a disposición del público, seguiría siendo necesario realizar muestreos en el futuro en todos los paisajes de América del Norte. Desde el punto de vista del manejo de especies y hábitats, estas áreas se dividen en distintas categorías: 1) zonas donde deben practicarse muestreos porque representan importantes lagunas de conocimiento, o 2) lugares donde es necesario realizar muestreos para poder documentar de inmediato los cambios en la diversidad de las abejas, bien porque las zonas son ricas en especies y cuentan con buenos datos históricos, o bien porque el hábitat se encuentra en situación especial de peligro.

Cabe resaltar la carencia de tomas de muestras suficientes en vastas extensiones de América del Norte, cuya superficie abarca 24.3 millones de km<sup>2</sup> y comprende ecorregiones que van desde la tundra ártica y la taiga hasta los bosques húmedos templados y tropicales, las praderas y los desiertos cálidos y fríos. Las elevaciones oscilan entre los más de 6,000 m sobre el nivel del mar y los casi 100 m por debajo de éste. Se cree que existen varios miles de especies de abejas en Canadá (alrededor de 900 especies), Estados Unidos (4,000 especies) y México (unas 2,000 especies), muchas de las cuales se han identificado apenas como morfoespecies o tienen nombres inéditos (véase, por ejemplo, Urban Duarte *et al.*, 2021); de ahí la dificultad de hacer estimaciones sobre la diversidad de abejas en cada región. No es de extrañar, por consiguiente, su escasa documentación en muchas zonas extensas del subcontinente, y la relativamente exigua cantidad de listas comentadas (es decir, con anotaciones y comentarios) con que se cuenta por ecorregión, hábitat o región política. Si bien algunas de las zonas menos documentadas pueden albergar sólo unas cuantas especies, existen pruebas suficientes que sugieren que algunas zonas de los tres países de la región probablemente alberguen un conjunto rico y variado de especies de abejas. En aras de la conservación y para conocer mejor la biogeografía y la evolución de las abejas, así como las relaciones entre éstas y la vegetación, es importante dar prioridad a la realización de sondeos poblacionales y las tareas de monitoreo en estas zonas. Además, si se desea crear herramientas de visualización geográfica de las abejas que incluyan modelos de nicho precisos y otros tipos con capacidad predictiva, es esencial subsanar estas lagunas.

#### 4.2.1 Áreas poco muestreadas y prioritarias para la realización de investigaciones sobre abejas

Las siguientes áreas prioritarias (véase el mapa en la gráfica 2) fueron definidas con base en la opinión de personas con conocimientos especializados que participaron en el taller de la CCA sobre abejas nativas celebrado en abril de 2023. Su objetivo es ofrecer puntos de partida valiosos para actividades de inventario y monitoreo en América del Norte. Aunque esta selección surgió del consenso de las personas especialistas reunidas en el taller, no es estática y puede evolucionar con el tiempo en función de nuevas investigaciones, datos emergentes y cambios en las necesidades de conservación.

**Gráfica 2. Áreas de América del Norte de alta prioridad para el muestreo de abejas nativas a fin de subsanar deficiencias en el conocimiento de la distribución de las especies**



- 1) Baja California, México; 2) Sierra Madre del Sur, México; 3) altiplano central, México; 4) tierras áridas de Oaxaca, México; 5) desierto de Chihuahua, México y Estados Unidos; 6) desierto de la Gran Cuenca, Estados Unidos; 7) Sierra Nevada oriental, Estados Unidos; 8) sureste de Estados Unidos; 9) remanentes de praderas de hierbas altas y cortas, Canadá y Estados Unidos; 10) cuencas interiores occidentales, Canadá; 11) zona caroliniana, Canadá; 12) llanuras de bosque mixto, Canadá; 13) hábitats árticos y boreales, Canadá y Estados Unidos, y 14) provincias marítimas, Canadá.

1. **Baja California, México.** Esta península excepcional nunca ha sido objeto de un muestreo de abejas exhaustivo (Ayala *et al.*, 1993; Falcón Brindis y León Cortés, 2022). Aunque representa una porción del desierto de Sonora, mucho más ampliamente investigado, su aislamiento durante los últimos 5.5 millones de años le da una trayectoria evolutiva muy diferente (Garcillán *et al.*, 2020). Con una extensión de casi 1,300 kilómetros, Baja California es la segunda península más larga del mundo, por lo que su clima y ecología están muy influenciados por el mar que la rodea. Desde playas de palmeras hasta cimas montañosas (también llamadas islas serranas o “del cielo”), los hábitats de esta zona son múltiples y únicos. La región abarca 30° de latitud, e incluye elementos desérticos al norte y ecorregiones con condiciones de humedad o precipitación más moderadas al sur. Esta diversidad de hábitats sugiere oportunidades para una apifauna única y diversa, con al menos algunas especies endémicas. A título indicativo, casi 20 por ciento de las especies de plantas vasculares son endémicas, al igual que 57 de las 84 especies de reptiles (Grismer, 2002). Entre los invertebrados, casi 40 por ciento de los escorpiones y 45 por ciento de los escarabajos tenebriónidos también son endémicos. Un estudio limitado de abejas en sólo seis lugares de la región encontró 151 especies de 48 géneros (Falcón Brindis y León Cortés, 2022). Se considera que entre 30 y 70 por ciento de la apifauna es probablemente distintiva de la región, con tasas de endemismo que aumentan hacia el sur (Ayala *et al.*, 1993). Cabe destacar que, al parecer, la mayoría de las abejas conocidas de esta región llegaron de zonas ubicadas más al norte, en Estados Unidos, y son pocas las especies que se encuentran en el territorio continental mexicano, linealmente más cercano. Por último, se debe dar prioridad a esta zona, ya que la rápida expansión de los centros urbanos y el creciente uso agrícola amenazan los hábitats silvestres e impactarán la zona antes de que las especies de abejas puedan documentarse por completo.
2. **Sierra Madre del Sur, con énfasis en las montañas de Guerrero (entre ellas las de Atoyac), México.** La Sierra Madre del Sur es una cadena montañosa que bordea la costa del Pacífico a lo largo de más de 1,000 km, desde el oeste de Guerrero hasta el sur de Oaxaca. Las montañas son abruptas, pronunciadas y escarpadas, con material volcánico y un clima que va de templado a subhúmedo. Esta zona destaca por su excepcional biodiversidad, que alberga una gran variedad de flora y fauna. En ella se pueden observar bosques de pino y encino que se extienden hacia el sur hasta Costa Rica, y hacia el norte, hasta Nuevo México y Arizona, además de que abundan los bosques secos tropicales. Esta combinación única de ecosistemas integrados por bosques tropicales húmedos, bosques nubosos y bosques de montaña sustenta numerosas especies endémicas y raras, lo que la convierte en un *punto caliente* para la diversidad biológica (González Iturbe *et al.*, 2018; Myers *et al.*, 2000). Por otro lado, los estudios apuntan a altas tasas de especiación en las abejas de la zona, debidas a la variada topografía y el aislamiento que produce (Duennes *et al.*, 2017). Esta región está amenazada por la deforestación, los cambios en el uso del suelo, la destrucción del hábitat y el cambio climático (Santos Moreno *et al.*, 2017).
3. **Altiplano central, México.** Vasta zona de terreno elevado en la región central de México, el altiplano mexicano cubre una porción considerable del país y abarca un amplio abanico de

hábitats gracias a las importantes variaciones topográficas y diferencias de altitud. Estos hábitats incluyen bosques de montaña, pastizales, matorrales desérticos, humedales y tierras agrícolas. Numerosas especies de abejas son endémicas de la región, incluidos géneros y subgéneros enteros (Ayala *et al.*, 1993). Además, muchos de los géneros de América del Norte —como *Centris*, *Exomalopsis* (Timberlake, 1980) y *Mexalictus*, al igual que varios de la subfamilia *Panurginae*— alcanzan en esta zona su máxima diversidad.

4. **Tierras áridas de Oaxaca, México.** Situada en el sur de México, en su mayor parte en el estado de Oaxaca, esta zona semiárida alberga flora y fauna únicas que incluyen no sólo especies endémicas, sino también otras que se encuentran en los límites septentrional y meridional de sus rangos de distribución de mayor extensión. Abarcando la región entre la Sierra Madre del Sur y el Eje Volcánico Transversal, esta zona alberga especies asociadas con el desierto de Sonora al norte, entre las que se cuentan numerosos cactus columnares y cerca de 3,000 especies distintas de plantas vasculares, así como elementos de las ecorregiones que predominan más al sur (Ayala *et al.*, 1993).
5. **Desierto de Chihuahua, México y Estados Unidos.** Situado en el suroeste de Estados Unidos y el norte de México y con más de 360,000 km<sup>2</sup> de extensión, el desierto de Chihuahua es uno de los mayores desiertos de América del Norte. En esta vasta región proliferan numerosos oasis, especies endémicas y una gran diversidad de plantas y animales adaptados a condiciones áridas y semiáridas. Desde hace tiempo se sabe que las regiones áridas del subcontinente albergan la mayor riqueza de especies de abejas (Michener, 2007; Orr, 2022). Si bien son escasos los estudios sobre abejas efectuados en el desierto de Chihuahua, aquellos con que se cuenta apuntan a una apifauna abundante y diversa (McAlister, 2012; Minckley y Ascher, 2012; Minckley *et al.*, 1999; Kazenel *et al.*, 2020; Munguía Soto *et al.*, 2022), rica en abejas especialistas (Minckley *et al.*, 2000) en riesgo a causa de las amenazas derivadas del pastoreo excesivo (Cane, 2011; Minckley, 2014), la urbanización (Hostetler y McIntyre, 2001) y el cambio climático (Argueta Guzmán *et al.*, 2022; Munguía Soto *et al.*, 2022). Curiosamente, parece haber distintas comunidades de abejas asociadas al desierto de Chihuahua, así como al de Sonora, situado directamente al oeste (Ayala *et al.*, 1993).
6. **Desierto de la Gran Cuenca, con inclusión de “islas del cielo”, Estados Unidos.** Aunque se han realizado algunos sondeos poblacionales de abejas en la parte meridional de Nevada (Griswold *et al.*, 1999), donde se encuentra el desierto de Mojave, el resto del estado sigue en gran parte sin ser objeto de muestreo. Al norte se han registrado 647 especies de abejas en la cuenca de Columbia; al sur se han documentado casi 700 especies de abejas en un solo condado de Nevada —el de Clark—, pero la vasta zona intermedia, que se extiende a lo largo de casi 750 km, es relativamente desconocida (Orr, 2021; Chesshire, 2023). Es probable que la región contenga una gran diversidad de diferentes familias de abejas, sobre todo de *Megachilidae* (Griswold *et al.*, 2014); las “islas del cielo” en las montañas podrían albergar especies de abejas endémicas aún por descubrir y, con toda seguridad, han servido de refugio para algunas especies de abejorros de América del Norte (Koch *et al.*, 2018). En las porciones meridionales del estado ya se ha documentado la presencia de diversas especies de abejas raras y presumiblemente en peligro, con vínculos estrictos a plantas hospedadoras con

distribuciones geográficas pequeñas (Portman *et al.*, 2019). Además, varios grupos de abejas parecen haberse originado en esta región oriental del desierto de Mojave (Griswold y Mille, 2010; Nelson y Griswold, 2015). Hacia el norte, el vasto desierto de la Gran Cuenca alberga 92 especies sólo del género *Anthidium* (González *et al.*, 2014). En todo el estado, la conversión de tierras, especialmente para instalaciones solares, y la creciente expansión urbana suponen una amenaza para las especies de abejas (McCoshum y Geber, 2020).

7. **Sierra Nevada oriental y montañas Cascade, Estados Unidos.** Adyacentes a la Gran Cuenca por el lado oeste, la parte oriental de la cordillera de Sierra Nevada —que se extiende desde el sur de California casi hasta Oregón— y las montañas Cascade (en Oregón) siguen siendo una zona donde podrían hacerse nuevos descubrimientos, lo cual contribuiría a esclarecer el conocimiento sobre abejas en esta región y a generar mapas distribución. Esta zona está increíblemente amenazada debido al cambio climático, la reducción intencional de vegetación acumulada con fines de prevención de incendios forestales y los consiguientes incendios forestales naturales atípicos, que probablemente provocarán alteraciones significativas en la composición de la comunidad de abejas. Por lo tanto, convendría priorizar la recolección en esta región para establecer puntos de referencia de las especies antes de que ello ya no sea posible.
8. **Sureste de Estados Unidos.** Los sondeos poblacionales de abejas en el sureste de Estados Unidos revisten especial importancia, toda vez que el conocimiento acerca de la distribución de estas especies en la región es insuficiente. De estudios anteriores se desprende que la región incluye abejas restringidas a hábitats únicos, como campos de dunas a lo largo de islas barrera y llanuras costeras. Varias especies de abejas parecen proceder de regiones desérticas y neotropicales y representan importantes disyuntivas (Cane, 1996). Aunque es probable que la zona no sea tan rica en abejas como ciertas regiones occidentales, según demuestran numerosos sondeos poblacionales a pequeña escala y locales (Jones y Jones, 1980; Pascarella *et al.*, 1999; Little, 2013; Deyrup *et al.*, 2002; Owens *et al.*, 2018; Stephenson *et al.*, 2018; Bartholomew, 2004; Bartholomew *et al.*, 2006; Hall y Ascher, 2010; Schlueter y Steward, 2015), lo cierto es que ésta alberga especies de abejas únicas y poco conocidas. La presencia de un componente de hábitat vertical sugiere también la existencia de hábitats únicos: hace algunos años, un estudio encontró que un componente notable de la comunidad de abejas se alimentaba en los árboles cuando los recursos cercanos al suelo eran escasos (Ulyshen *et al.*, 2010). Los hábitats forestales de la región, que van desde los caducifolios templados hasta los pinos, son refugio de poblaciones de abejas intactas y estables que están amenazadas tanto por la mala salud de los bosques tras un siglo de implementación de estrategias encaminadas a suprimir incendios (Hanula, 2015; Odanaka, 2019; Ulyshen, 2021), como por la presencia de especies invasoras de hormigas (Ulyshen y Horn, 2023), los efectos asociados con el cambio climático y la pérdida de hábitats a medida que se expanden los centros urbanos.
9. **Restos de praderas de hierbas altas y cortas, Estados Unidos y Canadá.** Hace doscientos años, en la mayor parte de la zona central de América del Norte predominaban los pastizales, y las praderas de hierba corta y alta recibían la migración de grandes manadas de búfalos y antílopes, así como de ciervos y alces (Samson *et al.*, 2004). La perturbación creada por estos

rebaños con pezuñas dio lugar a una increíble diversidad de especies de hierbas y sus polinizadores asociados (Knapp *et al.*, 1999; McMillan, 2019). Diversas especies de abejas que rara vez se ven ahora, de los géneros *Florilegus*, *Cemolobus* y *Anthemurgus* (Carril y Wilson, 2022), podrían haber sido más abundantes en el pasado en las vastas zonas centrales de Canadá y Estados Unidos (Carper *et al.*, 2019). Hoy en día quedan sólo restos de esta gran ecorregión, pero esas áreas tienen la capacidad de informarnos sobre comunidades de abejas que ahora son raras y difíciles de encontrar intactas. Como indicación de la diversidad de abejas que los remanentes de praderas de hierba corta y alta pueden albergar, en sólo tres sitios con una superficie de una hectárea cubierta por praderas de hierba mixta en el sur de Canadá se encontraron más de un centenar de especies de abejas a lo largo de dos años de muestreo (Patenaude, 2007), y se obtuvieron resultados similares en remanentes de praderas de hierba alta en Illinois (Griffin *et al.*, 2017; Tonietto *et al.*, 2017) y Iowa (Hendrix *et al.*, 2010). Incluso las tierras dominadas por la agricultura en esta región parecen servir de hábitat a aún numerosas poblaciones de abejas (Arathi *et al.*, 2019), lo que sugiere que prestar atención a la conservación de los remanentes podría ser importante para preservar a las abejas nativas de la zona.

10. **Cuencas interiores occidentales, Canadá.** Los pastizales son predominantes en los paisajes comprendidos entre las cordilleras interiores del oeste de Canadá. A pesar de ser la más pequeña de las ecozonas canadienses (~57,000 km<sup>2</sup>), esta zona alberga la mayor diversidad de abejas por unidad de superficie en el país (Sheffield *et al.*, 2014). En ella convergen diversas ecorregiones de mayor tamaño, de manera que comprende elementos lo mismo propios de matorrales templados que de pastizales de la Gran Cuenca y los ecotonos de bosque seco (Shorthouse, 2010). Ambos tipos de hábitat se encuentran en el extremo septentrional de la región, y se calcula que las abejas asociadas a las hierbas del sotobosque también puedan encontrarse en dicha zona. La modesta cantidad de investigaciones realizadas en la región sugiere una fauna única, con muchas especies que no se encuentran en ningún otro lugar de Canadá (Gibbs, 2010; Sheffield *et al.*, 2011; Heron y Sheffield, 2015). Sin embargo, se trata también de las zonas que han experimentado las modificaciones más drásticas (Blackburn, 2010) a causa de la conversión a tierras de cultivo y el uso de plaguicidas (Shorthouse, 2010; Vankosky, 2017), el pastoreo de ganado (Samson *et al.*, 2004) y la urbanización (Javorek y Grant, 2011).
11. **Zona caroliniana, Canadá.** Esta región, situada principalmente en la parte sur de Ontario, en la región forestal de los Grandes Lagos-San Lorenzo, y que se extiende hacia el sur hasta el noreste de Estados Unidos, presenta un clima más templado que el de las zonas aledañas, por lo que alberga una gran variedad de especies vegetales y animales, algunas de las cuales suelen encontrarse más al sur. La zona ha sido objeto de escasas investigaciones sobre abejas, aunque un modesto estudio realizado en sólo tres praderas de la zona registró la asombrosa cifra de 124 especies, con predicciones de un número muy superior (Richards *et al.*, 2012), y otros estudios han notificado cifras igualmente elevadas, en relación con las zonas circundantes (MacKay y Knerer, 1979; Grixty y Packer, 2006; Taylor, 2007). Los numerosos

ecotonos, formados por paisajes kársticos, sabanas de robles, pastizales, bosques caducifolios y humedales, probablemente contribuyan a aumentar la riqueza y abundancia de abejas.

12. **Llanuras de bosque mixto, Canadá.** Las llanuras de bosque mixto de Canadá se caracterizan por albergar una mezcla de coníferas y árboles caducifolios y se asocian a una zona de transición entre los bosques más boreales y septentrionales, y aquellos del sur de Canadá donde predominan las especies caducifolias. Esta región se extiende principalmente por el centro sur de Canadá, sobre todo en Ontario y Quebec. Al representar una zona de transición ecológica, la composición de las comunidades de abejas ahí podría ser distinta, lo cual no se ha podido corroborar debido a la escasez de sondeos poblacionales o trabajos de monitoreo realizados (véase Grixti y Packer, 2006; Proctor *et al.*, 2012; Syer, 2016; Liczner *et al.*, 2023). Es muy probable que esta zona manifieste los efectos del cambio climático de forma más notoria que aquellas otras donde no se observa esta mezcla de ecosistemas boreales y templados, sobre todo por lo que respecta a las especies de abejorros (Colla, 2010). Cabe destacar que áreas clasificadas dentro de la zona caroliniana se superponen a las llanuras canadienses de bosque mixto (de hecho, los bosques carolinianos de Canadá se encuentran dentro de la ecozona de llanuras de bosque mixto).
13. **Hábitats árticos y boreales, Canadá y Estados Unidos.** Aunque es poco probable que los climas septentrionales extremos sean puntos de elevada biodiversidad de abejas, en términos de número y abundancia de especies, lo cierto es que representan los límites conocidos de los rangos de distribución de las especies de abejas. A medida que el clima va cambiando, es posible que en estas zonas se observen nuevas fluctuaciones de la temperatura mensual, cambios en la estacionalidad y las consiguientes variaciones en la época de floración de importantes plantas de las que los polinizadores se alimentan. Se espera que la realización de sondeos poblacionales de abejas en estas zonas y el establecimiento de áreas de monitoreo a largo plazo —como parte de los trabajos previstos en el Marco de Monitoreo de los Polinizadores del Ártico (*Arctic Pollinator Monitoring Framework*) (en fase de preparación) del Grupo de Trabajo sobre Conservación de la Flora y Fauna del Ártico (*Conservation of Arctic Flora and Fauna*) del Consejo del Ártico (*Arctic Council*)— arrojen a corto plazo información importante sobre la dinámica poblacional de las abejas. Rica en abejorros (Sakagami y Toda, 1986; Laverty y Harder, 1988; Hicks y Sheffield, 2021), pero limitada en abejas solitarias (Burns *et al.*, 2022), esta vasta región alberga abejas con adaptaciones a la estación corta y al clima frío, y con frecuencia se documentan ampliaciones de las zonas de distribución (por ejemplo, Ratzlaff, 2018).
14. **Provincias marítimas, Canadá.** Con diez parques nacionales y medio centenar de islas, esta región representa una oportunidad única para estudiar a las abejas costeras en latitudes septentrionales. Los hábitats van desde playas y dunas de arena hasta bosques mixtos acadianos y boreales en zonas del interior. En primavera predominan las flores silvestres de floración temprana, y las abejas asociadas representan en algunos casos las que se han registrado más al norte o más al este (es decir, se encuentran en los límites septentrional u oriental de distribución para algunas especies) (Michener, 2000). Lo mismo se ha observado hacia el norte para las especies de abejas halíctidas en la isla de Cabo Bretón (Packer, 1989).

La zona también incluye áreas utilizadas para la agricultura, con cultivos de moras azules de matorral bajo, arándanos rojos y manzanas, y es frecuente observar la intersección de remanentes de hábitat silvestre y entornos agrícolas (véanse, por ejemplo, Martins *et al.*, 2015; Moisan-DeSerres *et al.*, 2015; Martins *et al.*, 2018; Slupik *et al.*, 2022; Vega *et al.*, 2023), por lo que el registro de las abejas asociadas debe ser una prioridad al documentar los rangos de distribución de abejas a escala de América del Norte. Entre las amenazas que enfrentan los polinizadores en esta zona destacan el establecimiento de especies de plantas no nativas e invasoras, que alteran las redes de polinizadores (Stubbs *et al.*, 2007), y la pérdida de hábitat (Gervais *et al.*, 2017).

#### 4.2.2 Otros paisajes prioritarios

Además de las zonas que son únicas desde el punto de vista ecológico por su riqueza en especies endémicas, o de aquellas donde no se han realizado suficientes muestreos de abejas, existen otros paisajes que merecen considerarse para la realización de estudios intensivos no solamente porque contribuirían a una mejor comprensión de las tendencias en la dinámica poblacional de las abejas, sino también por otras razones, entre las que se cuentan el seguimiento de la biodiversidad de las abejas en zonas reconocidas como *puntos calientes* y el monitoreo de los polinizadores asociados a los sistemas agrícolas.

1. **Áreas ya muestreadas.** Las áreas sometidas en el pasado a un muestreo riguroso y metodológicamente sólido deberían muestrearse de nuevo en fechas futuras, con el fin de documentar los cambios en las poblaciones de abejas. Aunque se están emprendiendo numerosas iniciativas encaminadas a establecer datos de referencia, se requerirán muchos años de estudio para poder comprender con claridad el estado de salud y las tendencias de las poblaciones de abejas. Los sondeos poblacionales de abejas realizados en el pasado con datos estandarizados son pocos —y con largos tiempos transcurridos entre uno y otro—; sin embargo, aquellos disponibles brindan la oportunidad de monitorear de manera más oportuna los cambios producidos, tanto en las comunidades de abejas en su conjunto como en especies determinadas. Por ejemplo, en el Monumento Nacional de Pinnacles, en California, se ha monitoreado a comunidades de abejas a lo largo de casi 30 años, empeño que facilita una comprensión profunda de cómo éstas fluctúan de forma natural (Meiners *et al.*, 2019; Messinger y Griswold, 2002). Del mismo modo, a partir de una documentación meticulosa de las interacciones entre plantas y polinizadores realizada hace más de 130 años en Illinois, se ha generado un conjunto de datos que permite a las personas dedicadas a la ciencia revisar y evaluar la forma en que tales interacciones se han modificado a lo largo de un siglo de cambios en el uso del suelo (Burkle *et al.*, 2013). En el Refugio Nacional de Vida Silvestre Sevilla, Nuevo México, desde hace más de dos décadas se evalúan anualmente las poblaciones de abejas mediante trampas pasivas, lo que ha aportado información importante sobre las variaciones en la rotación estacional de las especies de abejas en relación con las fluctuaciones climáticas (Kazeneil *et al.*, 2020). En años pasados se realizaron estudios metódicos en unos cuantos sitios de América del Norte y, aun cuando el conocimiento sobre la fauna que los habita es abundante, si se realizaran nuevos estudios en ellos podría

obtenerse información importante sobre la dinámica poblacional de las abejas. Numerosas zonas, a menudo objeto de análisis para proyectos de maestría o doctorado, podrían someterse a nuevos muestreos siguiendo la misma metodología, o una similar, con gran eficacia. También se han muestreado sistemáticamente varios parques nacionales de Estados Unidos, y sería muy informativo repetir el muestreo en estas regiones, que representan un “control” frente a algunas de las perturbaciones a escala de paisaje experimentadas por hábitats ubicados fuera de áreas protegidas. Entre los parques nacionales donde se han realizado muestreos estandarizados figuran el Parque Nacional de Yosemite, el Monumento Nacional de Grand Staircase Escalante, el Monumento Nacional de Bandelier, el Parque Nacional de Carlsbad y el Parque Nacional de Zion.

- 2. Áreas conocidas como puntos calientes.** Asimismo, es preciso dar prioridad a las zonas conocidas por su elevada riqueza de especies, ya que en ellas podría analizarse la documentación de cambios importantes por cuanto a abundancia regional o local de la comunidad en su conjunto. No es de sorprender que algunas de las zonas donde se ha registrado la mayor riqueza en especies de abejas sean también las que han sido ampliamente estudiadas, y en general de forma metódica y estandarizada. Sirva como ejemplo el Laboratorio Biológico de las Montañas Rocosas, en Colorado, Estados Unidos, donde durante décadas se ha estudiado de forma sistemática a las abejas, en conjunción con el trabajo sobre vegetación, dando lugar a un registro inestimable de los cambios en la fenología de las plantas y las abejas a lo largo del tiempo (Stemkovski *et al.*, 2020; Gezon *et al.*, 2015; Forrest y Thomson, 2011). Se trata de zonas con una diversidad excepcional de abejas que podrían ser candidatas a someterse a monitoreo para poder evaluar los cambios documentados. Por ejemplo, Cane, Minckley y sus colegas (2000; 2006; 1999) han muestreado a fondo comunidades de gobernadora (*Larrea tridentata*) en toda la zona de Phoenix y Tucson. Un nuevo muestreo de estas comunidades vegetales podría aportar información importante sobre los cambios en la presencia o ausencia de abejas y en su riqueza y abundancia, ya que los resultados actuales podrían compararse con los hallazgos de hace 20 o 30 años, derivados en muchos casos de datos que sí se estandarizaron temporal y espacialmente.
- 3. Zonas dedicadas a la agricultura.** Los sistemas agrícolas que dependen de los polinizadores o se benefician de ellos son zonas muchas veces pasadas por alto pero de gran importancia para el muestreo estandarizado (Steffan-Dewenter *et al.*, 2005; Klein *et al.*, 2007). Las regiones agrícolas suelen ser objeto de más muestreos que otros tipos de paisaje debido a los numerosos proyectos agrícolas de pequeña o gran envergadura que cuentan con financiamiento para ello; sin embargo, estos muestreos suelen carecer de estandarización, muchos permanecen sin documentar y la cobertura varía en gran medida entre los distintos cultivos y regiones geográficas (Schindler *et al.*, 2013). Es esencial comprender las poblaciones de abejas, sus tendencias y los factores que provocan su declive, dado su vital papel en la polinización de los cultivos y en virtud de los desafíos que actualmente se plantean por cuanto a la salud de las abejas melíferas y la sustentabilidad de sus poblaciones. En ese sentido, es imperativo priorizar el muestreo estandarizado en las zonas agrícolas de América del Norte.

### 4.3 Portales de datos: unificación de todos los datos disponibles en un solo lugar

En el análisis, los metadatos asociados son tan importantes como los puntos de datos georreferenciados. Cada registro contiene metadatos correspondientes a la fecha y el lugar de recolección; la asociación floral, si fuera el caso, e información taxonómica (idealmente, sobre la especie). Los metadatos también deben indicar el método de obtención (por ejemplo, red, trampa, fotografía), así como una medida de la precisión de la localización de cada registro. El empleo de permisos de acceso permitiría “difuminar” los registros que pueden contener información confidencial. Asimismo, otros registros cuya localización exacta se desconozca podrían marcarse y, en caso necesario, excluirse. Resultaría muy informativo también proporcionar información sobre la persona que realizó el registro y la que llevó a cabo la identificación, con indicación, si así lo desean, de su afiliación profesional e información de contacto. Esto permitiría a quienes utilicen el conjunto de datos georreferenciados formular preguntas a las personas responsables de los registros y de su taxonomía, así como también darles el debido crédito en publicaciones derivadas. En última instancia, las bases de datos en las que se apoyan las herramientas geoespaciales deben ser flexibles e integradoras para que su aportación resulte lo más eficaz posible en los análisis posteriores y la toma de decisiones subsiguiente.

Lo ideal sería que una herramienta geoespacial permitiera amalgamar datos de una base de datos geoespacial, independientemente del tipo (fotografía o espécimen) o la fuente (sondeo poblacional estandarizado o colección histórica) de los registros de datos. En la actualidad, la mayoría de las herramientas geoespaciales se basan en el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF), que no sólo ha recopilado registros históricos de museos, sino también registros de iNaturalist y de otras bases de datos fotográficas en línea. Estos datos se ajustan a Darwin Core, lo que significa que se cargan en un marco flexible pero estable, en el que todos los aspectos registrados se categorizan utilizando convenciones de nomenclatura similares, de modo que múltiples conjuntos de datos dispares pueden integrarse en un gran conjunto de datos.

1. **GBIF.** Si bien es cierto que el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (en inglés: *Global Biodiversity Information Facility*) es, por mucho, la mejor fuente de datos geoespaciales sobre abejas, también cabe reconocer que presenta algunas limitaciones. Como se ha señalado, la incorporación de datos al GBIF requiere una acreditación específica, de manera que muchas fuentes de datos significativos quedan excluidas. No todas las entidades con datos geoespaciales sobre abejas están calificadas para publicar en este sistema, en el cual se requiere la aprobación de los nodos participantes, y que los datos provengan de una organización y no de una persona en lo individual. Por lo tanto, por ejemplo, puede darse el caso de estudiantes de posgrado que han recolectado datos sobre abejas, pero que después se separan de la institución académica a la que estaban asociadas, no lleguen a publicar sus registros de abejas, sobre todo si sus instituciones no tienen sus propias publicaciones. Además, los registros del GBIF no siempre reflejan las más actualizadas convenciones de nomenclatura de especies; por ello, las herramientas de visualización de datos deben examinar cada cierto tiempo los datos del GBIF en busca de los números de serie taxonómicos (NST), que registran la información más reciente. Otra limitación es la reticencia de algunas

personas poseedoras de datos a subirlos y compartirlos, debido a un marcado sentido de la propiedad y el resguardo de datos, o bien por cuestiones de confidencialidad de la información, que requeriría un proceso para “difuminar” los registros, función actualmente no disponible en el GBIF. En ocasiones, los datos del GBIF están incompletos y puede faltar información importante, como los registros de plantas. Por último, subir datos a esta plataforma puede suponer una gran inversión de tiempo cuando se quieren incluir todos los metadatos requeridos, lo cual representa una barrera para algunas personas participantes.

2. [NatureServe](#) y programas sobre el patrimonio natural. Los programas estatales de patrimonio natural de Estados Unidos comparten datos a través de NatureServe, aunque, dependiendo de cada entidad, el intercambio de datos puede ser poco uniforme o no confiable.
3. [The Symbiota Collections of Arthropods Network \(SCAN\)](#) [Red Symbiota de Colecciones de Artrópodos] es otra base de datos de la que se podrían extraer registros para crear una herramienta geoespacial sobre abejas.
4. [Biotics](#), en Canadá, suele utilizarse sólo para las especies amenazadas o en riesgo; sin embargo, esta plataforma dificulta las transferencias eficientes a las herramientas de visualización de datos.
5. [Conabio](#), en México, mantiene extensas bases de datos de registros georreferenciados para todos los grupos biológicos del país (Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad, SNIB).

Otras bases de datos tienen sus propias limitaciones. De momento ninguna es tan completa como el GBIF, y muchas se centran sólo en especies raras o en peligro o en taxones específicos (por ejemplo, especies del género *Bombus*). Por ahora, los conjuntos de datos pueden enviarse directamente a la persona encargada de crear la herramienta geoespacial; sin embargo, se trata de una solución quizá no sostenible a largo plazo.

El USDA tiene en preparación una red de conocimiento sobre polinizadores que podría servir como plataforma de la cual extraer datos en el futuro, o a la que podrían subirse datos de múltiples fuentes en caso de que el GBIF se considerase insuficiente. En cuanto al intercambio de datos, la incentivación parece ser la solución más lógica. Una forma de incentivar podría consistir en crear un factor de impacto basado en la cantidad de datos publicados, el valor de los datos y la frecuencia de publicación. Un factor de impacto para las personas especializadas en taxonomía y para los museos ayudaría a incentivar la identificación de abejas en las grandes colecciones de insectos, aún sin examinar. Disponer de más datos es, indudablemente, de suma importancia, no sólo porque nutre el conocimiento sobre la distribución de las abejas, sino también porque permite saber cuándo se ha trabajado lo suficiente en una zona, de modo que los objetivos puedan centrarse mejor y la recolección excesiva no represente un problema. Además, la definición de un proceso dirigido a “difuminar” la información confidencial —por ejemplo, permitiendo a quienes aportan datos especificar el nivel de acceso proporcionado a los usuarios— facilitaría a determinadas personas investigadoras y científicas subir y compartir datos más generalizados pero de relevancia.

La Biblioteca de Abejas (*Bee Library*) es una iniciativa de colaboración entre más de una docena de universidades, colecciones de historia natural y centros de investigación para compilar e intercambiar datos sobre abejas, incluidas imágenes y datos de rasgos funcionales (tamaño corporal, información sobre plantas hospederas y dieta) (Setlmann *et al.*, 2021). Esta biblioteca es una rama de Symbiota, portal de datos ya establecido que permite a las personas participantes sin posibilidad de subir datos al GBIF añadirlos a un centro o nodo en línea ampliamente utilizado.

#### 4.4 Visualización de datos: ¿qué debe hacer una herramienta geoespacial?

Una herramienta geoespacial debe funcionar de manera que permita a las personas usuarias responder a preguntas sobre las abejas con relación al tipo de suelo, el manejo del hábitat, el inventario de especies y la dinámica poblacional (es decir, tamaño y distribución de las poblaciones) a lo largo del tiempo y en el espacio. Los usos o la utilidad de una herramienta geoespacial sobre abejas pueden clasificarse de diversas maneras, en función de las características de cada especie, y también de la capacidad de la herramienta para trascender fronteras geográficas, ecológicas, ecorregionales o políticas. Una herramienta de visualización debe ser capaz de establecer una comunicación eficaz y presentar los datos de manera que respondan a las preguntas importantes de quienes la utilizan y, al mismo tiempo, resulten claros para quienes no cuenten con conocimientos especializados en la materia.

La capacidad para visualizar la localización de las abejas en un espacio geográfico es la primera prioridad de una herramienta sobre abejas, pero la capacidad de cruzar los puntos de datos —según la ecorregión; el área de manejo de tierras; la comunidad indígena de que se trate y las tierras originarias; el estado, provincia o condado de interés, y las áreas naturales protegidas— brinda a una herramienta de visualización una flexibilidad increíble, de utilidad por ejemplo para personas y entidades responsables de la administración de tierras que buscan determinar qué especies de abejas se han documentado en la(s) zona(s) a su cargo. Todas estas características se asocian a las coordenadas geoespaciales adjuntas a un registro de especímenes de abeja y a la disponibilidad de capas espaciales que puedan superponerse a dichas coordenadas. Asimismo, las capas espaciales que contienen elementos asociados a posibles amenazas (como índice de deforestación o variabilidad climática, entre otros) podrían ser de ayuda a la hora de evaluar los riesgos que corren las especies de abejas en una zona. Además, dado que los especímenes se registran con distintos grados de precisión, disponer de un rango de localización asociado a un espécimen facilitaría la interpretación exacta de los datos.

Otra característica espacial a tener en cuenta en las herramientas de visualización son las celdas reticulares. Aunque éstas no representan una delimitación bien definida, añadir celdas susceptibles de manipularse y escalarse podría mejorar las capacidades de conteo y análisis de abejas por unidad de superficie; ello no solamente permitiría hacerse una idea del esfuerzo de recolección en una región, sino que podría incluso ofrecer un índice de abundancia estandarizado. La posibilidad de alternar entre celdas de 2 x 2, 30 x 30 y 100 x 100 kilómetros resultaría de suma utilidad para quienes analizan los cambios en la presencia o ausencia de abejas con el paso del tiempo; también ayudaría a poner de relieve los puntos *calientes* y *fríos* (es decir, las zonas en las que se ha trabajado muy poco), que pueden variar en función de la escala del análisis. Estas celdas facilitan muchos tipos de análisis estadísticos espaciales en curso y también contribuirían a establecer un muestreo sistemático en una región.

Sería ideal poder observar las zonas de distribución de abejas pronosticadas, sin tener que limitarse a los registros de su presencia. En ese sentido, la modelización de nichos es un aspecto que aumentaría enormemente la utilidad de una herramienta de visualización de abejas al completar la información para zonas donde los datos recolectados son mínimos. También conocida como “modelización de la distribución de especies”, la modelización de nichos predice la posible presencia de una especie en una zona geográfica determinada a partir de las condiciones ambientales (por ejemplo, temperatura, precipitaciones o tipos de cobertura del suelo) que determinan los hábitats asociados con esa especie. Está claro que la modelización de nichos depende de cierto número de registros de presencia real para poder identificar con precisión patrones y relaciones entre la ocurrencia de las especies y las condiciones medioambientales. En el caso de algunas especies más raras, aún no es posible efectuar este tipo de modelización, y en el de otras, la falta de datos nulos (lugares donde la abeja no se encuentra) también limita la precisión del modelo; sin embargo, existen métodos estadísticos que permiten subsanar una carencia de datos nulos.

Una herramienta de visualización de datos sobre abejas es más eficaz cuando también incorpora atributos de la especie de interés. Las herramientas actuales incluyen información tanto de carácter taxonómico —familia, género y especie, entre otros—, como relativa al estado de conservación y protección de las especies (es decir, si se encuentran incluidas en algún listado de alcance nacional o internacional), y también acerca de su fenología. También sería útil añadir información en torno a los hábitos de nidificación, fotografías de las especies, enlaces a claves taxonómicas y bibliografía sobre los taxones. Varios portales de datos trabajan en la compilación de esta información (véase *supra*). Lo ideal sería que esta información se resumiera por regiones filtradas para crear, por ejemplo, resultados sobre abundancias relativas de abejas que nidifican en el suelo, o bien de insectos especialistas o especies sociales.

Los datos propios de cada espécimen también resultan imprescindibles en los análisis realizados por la comunidad dedicada al estudio científico de las abejas. Disponer de información sobre el sexo del ejemplar será de utilidad en muchos análisis. A efectos de reconocer la labor quienes con su conocimiento experto en taxonomía han trabajado en la identificación del espécimen, sería de gran valía que se listara el nombre de la persona responsable de determinar la especie. Esto también se aplica a la persona que dio lugar al registro del espécimen.

De preferencia, los datos sobre abejas podrían filtrarse en función de cómo se recogieron. Los registros de iNaturalist contribuyen al conocimiento de la presencia de algunas especies abejas, pero carecen del mismo rigor de precisión que suele asociarse a los datos derivados de especímenes recolectados. Poder filtrar los datos con base en el método de obtención permitiría a quienes los utilizan examinar aquellos más aplicables a su tarea. Incluso, conforme la disponibilidad de datos moleculares aumente, la utilidad de esta capacidad o función será aún mayor. También debería ser posible filtrar los datos correspondientes a especímenes capturados con uso de diferentes métodos o técnicas (redes, cuencos o platos trampa, trampas pasivas conocidas como “trampas malaise” o trampas de paleta), toda vez que ello podría también aportar información sobre qué especies posiblemente no estaban presentes, en función de su propensión a ser muestreadas con un método determinado. Por último, sería útil poder filtrar los datos correspondientes a registros derivados de tareas de recolección sistemática y

actividades de muestreo repetidas, a fin de distinguirlos de los registros incidentales, sobre todo para documentar los cambios en la composición de la comunidad, y la presencia o abundancia de especies.

## 4.5 Exportación de datos: ¿cuál es la mejor manera de compartir datos sobre abejas?

Por último, una herramienta de visualización sobre abejas debe incorporar formas de compartir los datos registrados con una diversidad de personas y entidades usuarias, entre las que podrían incluirse —como ya se ha mencionado— las responsables de administrar tierras; aquellas encargadas de elaborar informes sobre el estado de conservación de las especies; naturalistas; quienes en el ámbito académico se dedican a la investigación sobre abejas; personal docente y alumnado en todos los niveles; divulgadoras y otras destinatarias clave. Los intereses de tan amplio abanico de personas usuarias son igualmente diversos: algunas querrán simplemente saber más sobre las abejas; otras buscarán predecir su distribución en el futuro, comparar zonas entre sí o determinar los posibles “visitantes” de una planta concreta, por mencionar apenas algunas motivaciones.

Para que una herramienta geoespacial sea útil en toda América del Norte, en primer lugar debe estar disponible en tres idiomas: español, francés e inglés, así como incluir los nombres de las abejas en las lenguas indígenas correspondientes a cada lugar, junto con sus denominaciones comunes y en latín. Además, debe incluir múltiples “niveles” de análisis, de modo que alguien con cualquier nivel de comprensión de la biología de las abejas pueda encontrar datos útiles y claros. En este sentido, para la herramienta realmente sea accesible a quienes no pertenecen al mundo académico o a instituciones gubernamentales, los mapas y otras interfaces asociadas deberán poder consultarse sin necesidad de licencia. Asimismo, un producto adicional muy deseable consistiría en conjuntos de datos descargables que cada persona usuaria pudiese analizar por su propia cuenta, si las herramientas proporcionadas no fuesen suficientes.

La incorporación en los resultados de estadísticas a escala de comunidades ayudaría a quienes administran tierras a comprender las listas de especies de abejas generadas por la herramienta de visualización. Aunque las listas extensas de especies en una región resultan de cierto interés, su máximo valor radica en la capacidad de interpretarlas. ¿Cuáles de estas especies son sorprendentes? ¿Cómo se compara esta lista con las de otras regiones? ¿Han cambiado las especies con el tiempo? Utilizar estadísticas a escala de comunidades para ver cuántas especies diferentes hay en una zona (diversidad alfa) y cuán diferentes o similares pueden ser las distintas zonas entre sí en cuanto a especies (diversidad beta), ayudaría a entender mejor la información obtenida de una herramienta de visualización de abejas.

Disponer de una herramienta geoespacial dinámica y adaptable garantizará su longevidad. De manera similar, contar con un canal de retroalimentación por medio de cuestionarios bien estructurados ayudaría a comprobar que la herramienta satisface las necesidades de quienes la utilizan. Además, resultaría sumamente útil que la herramienta contara con un grupo de personas administradoras diversas, con experiencia en distintas ecorregiones o países y con prioridades variadas, a cargo de supervisar la introducción de datos nuevos, dar seguimiento a los portales de datos y añadir opciones de visualización de datos a medida que éstas se vayan concibiendo. Ello contribuiría también a garantizar

que la herramienta se mantuviera actualizada a lo largo del tiempo, lo que reviste especial importancia si está alojada en software de licencia: los cambios realizados por las entidades desarrolladoras del software podrían requerir actualizaciones frecuentes por parte de las encargadas del mantenimiento de la herramienta (además de que este tipo de software suele tener menos usuarios en general que puedan ayudar con la resolución de problemas, y la introducción y extracción de datos).

## **5 Conclusiones: la importancia de poder visualizar datos georreferenciados sobre las abejas**

En América del Norte existe una gran diversidad de abejas: las seis familias presentes en la región muestran comportamientos y preferencias propios o distintivos, pero todas desempeñan un papel crucial en el funcionamiento de los ecosistemas. Comprender la biología de las abejas es elemento de fundamental importancia para las iniciativas de conservación de la biodiversidad, ya que permite a la comunidad científica identificar y proteger hábitats críticos, gestionar las amenazas y preservar este rico y esencial grupo de insectos. A efecto de entender no sólo las necesidades de cada especie, sino también lo que hace falta para que comunidades enteras se mantengan intactas, es necesario disponer de una serie de herramientas que permitan la visualización y simplificación de datos por demás vastos y variados.

Tras largas conversaciones a lo largo de casi dos años, las personas especialistas e investigadoras participantes identificaron los desafíos y las posibles soluciones en torno a la recopilación y el procesamiento de la información disponible en materia de abejas. Lo más útil será reunir todos los datos georreferenciados disponibles sobre las abejas; recolectar nuevos datos de zonas importantes en las que no se hayan realizado sondeos poblacionales o tareas de monitoreo de abejas, y visualizar esos datos a través de una interfaz de usuario adecuada para presentar información geoespacial. Lo ideal sería que dicha interfaz permitiera consultar datos fenológicos, asociaciones con plantas, distribuciones previstas de especies de abejas, variaciones interanuales y correlaciones entre la presencia de abejas y las variables ambientales. Aunque se trata de una tarea de enormes proporciones, hoy en día existen herramientas que ejemplifican todos estos componentes y, con el apoyo adecuado de Canadá, Estados Unidos y México, respaldar la integración de una herramienta geoespacial sobre abejas fácil de usar constituye un objetivo razonable.

## Referencias bibliográficas

- Arathi, H. S., M. W. Vandever y B. S. Cade (2019), "Diversity and abundance of wild bees in an agriculturally dominated landscape of eastern Colorado" [Diversidad y abundancia de abejas silvestres en un paisaje del este de Colorado dominado por la agricultura], *Journal of Insect Conservation*, núm. 23, pp. 187-197.
- Arnold, N., R. Ayala, J. Mérida, P. Sagot, M. Aldasoro y R. Vandame (2018), "Registros nuevos de abejas sin aguijón (*Apidae: Meliponini*) para los estados de Chiapas y Oaxaca, México", *Revista Mexicana de Biodiversidad*, núm. 89, pp. 651-665.
- Ayala, R., T. L. Griswold y S. H. Bullock (1993), "The native bees of Mexico" [Abejas nativas de México], en T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot, J. Fa (eds.), *Biological Diversity of Mexico: Origins and Distribution*, Oxford University Press, Nueva York, Estados Unidos, pp. 179-227.
- Argueta Guzmán, M., J. Golubov, Z. Cano Santana y R. Ayala (2022), "The role of seasonality and disturbance in bee–plant interactions in semi-arid communities of the southern Chihuahuan desert" [Función de la estacionalidad y las perturbaciones en las interacciones abejas-plantas en comunidades semiáridas del sur del desierto de Chihuahua], *Insect Conservation and Diversity*, vol. 15, núm. 5, pp. 543-554.
- Bartholomew, C. S. (2004), *Bees associated with Louisiana longleaf pine savannas* [Abejas asociadas a las sabanas de pino de hoja larga de Luisiana], tesis, Universidad Estatal de Luisiana, Baton Rouge, Luisiana, Estados Unidos.
- Bartholomew, C. S., D. Prowell y T. Griswold (2006), "An annotated checklist of bees (*Hymenoptera: Apoidea*) in longleaf pine savannas of southern Louisiana and Mississippi" [Lista comentada de abejas (*Hymenoptera: Apoidea*) de las sabanas de pino de hoja larga del sur de Luisiana y Misisipi], *Journal of the Kansas Entomological Society*, vol. 79, núm. 2, pp. 184-198.
- Blackburn, T. A. (2012), *To bee, or not to bee, that is the problem: Managing wild bee decline in Canadian agriculture* [Zumbido o silencio: manejo del declive poblacional de las abejas silvestres y su impacto en la agricultura canadiense], tesis, Universidad Simon Fraser, Vancouver, Columbia Británica, Canadá.
- Burkle, L. A., J. C. Marlin y T. M. Knight (2013), "Plant-pollinator interactions over 120 years: loss of species, co-occurrence, and function" [Interacciones entre plantas y polinizadores a lo largo de 120 años: pérdida de especies, coocurrencia y función], *Science*, vol. 339, núm. 6127, pp. 1611-1615.
- Burns, C. T., M. L. Burns, S. Cannings, M. L. Carlson, S. Coulson, M. A. K. Gillespie, T. T Høye, D. MacNearney, E. Oberndorfer, J. J. Rykken y D. S. Sikes (2022), "Arctic pollinators" [Polinizadores del Ártico], en: NOAA, *Arctic Report Card 2022* [Boletín informativo sobre el Ártico 2022], en: <https://arctic.noaa.gov/report-card/report-card-2022/arctic-pollinators/>.
- Cane, J. H. (2011), "Meeting wild bees' needs on western US rangelands" [Cubrir las necesidades de las abejas silvestres en los pastizales del oeste de Estados Unidos], *Rangelands*, vol. 33, núm. 3, pp. 27-32.

- Cane, J. H., R. L. Minckley y L. J. Kervin (2001), "Sampling bees (*Hymenoptera: Apiformes*) for pollinator community studies: pitfalls of pan-trapping" [Muestreo de abejas (*Hymenoptera: Apiformes*) para estudios de comunidades de polinizadores: dificultades del método de plato trampa], *Journal of the Kansas Entomological Society*, núm. 73, pp. 208-214.
- 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" [Respuestas complejas en un gremio de abejas del desierto (*Hymenoptera: Apiformes*) ante la fragmentación del hábitat urbano], *Ecological Applications*, vol. 16, núm. 2, pp. 632-644.
- Cane, J. H., R. R. Snelling y L. J. Kervin (1996), "A new monolectic coastal bee, *Hesperapis oraria* Snelling and Stage (*Hymenoptera: Melittidae*), with a review of desert and neotropical disjunctives in the southeastern U.S." [Nueva abeja costera monoléctica, *Hesperapis oraria*, descrita por Snelling y Stage (*Hymenoptera: Melittidae*), con una revisión de las disyuntivas desérticas y neotropicales en el sureste de Estados Unidos], *Journal of the Kansas Entomological Society*, vol. 69, pp. 238-247.
- Carper, A. L., C. J. Schwantes y M. A. Jamieson (2019), "A new state record of the rare bee, *Cemolobus ipomoeae* (*Hymenoptera, Apidae*), from Colorado, USA" [Nuevo registro estatal de la rara abeja *Cemolobus ipomoeae* (*Hymenoptera, Apidae*) de Colorado, Estados Unidos], *Journal of the Kansas Entomological Society*, vol. 91, núm. 2, pp. 171-175.
- CCA (2020), *Plan Operativo 2019-2020 de la Comisión para la Cooperación Ambiental*, "Fortalecimiento de la conservación regional de las especies polinizadoras para asegurar sus beneficios en el ámbito local", Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, en: [www.cec.org/files/documents/planes\\_operativos/operational-plan\\_2019-2020.pdf](http://www.cec.org/files/documents/planes_operativos/operational-plan_2019-2020.pdf).
- CCA (2022), *Plan Operativo 2022 de la Comisión para la Cooperación Ambiental*, "Impulso a la conservación de los polinizadores en América del Norte", Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, Canadá, en: [www.cec.org/files/documents/planes\\_operativos/operational-plan\\_2022.pdf](http://www.cec.org/files/documents/planes_operativos/operational-plan_2022.pdf).
- Chesshire, P. R., E. E. Fischer, N. J. Dowdy, T. L. Griswold, A. C. Hughes, M. C. Orr, J. S. Ascher, L. M. Guzmán, K. L. J. Hung, N. S. Cobb y L. M. McCabe (2023), "Completeness analysis for over 3000 United States bee species identifies persistent data gap" [Análisis de exhaustividad para más de 3,000 especies de abejas de Estados Unidos revela lagunas persistentes en los datos], *Ecography*, vol. 2023, núm. 5, id.: e06584.
- Cobb, N. S., L. F. Gall, J. M. Zaspel, N. J. Dowdy, L. M. McCabe y A. Y. Kawahara (2019), "Assessment of North American arthropod collections: Prospects and challenges for addressing biodiversity research" [Evaluación de las colecciones de artrópodos de América del Norte: perspectivas y desafíos para abordar la investigación sobre biodiversidad], *PeerJ*, núm. 7, id.: e8086.
- Colla, S. R. y S. Dumesht (2010), "The bumble bees of southern Ontario: Notes on natural history and distribution" [Abejorros del sur de Ontario: apuntes sobre historia natural y distribución], *Journal of the Entomological Society of Ontario*, vol. 141, pp. 39-68.

- Deyrup, M., J. Edirisinghe y B. Norden (2002), "The diversity and floral hosts of bees at the Archbold Biological Station, Florida (*Hymenoptera: Apoidea*)" [Diversidad y hospedadores florales de las abejas en la estación biológica de Archbold, Florida (*Hymenoptera: Apoidea*)], *Insecta Mundi*, vol. 16, núm. 1-3, pp. 87-120.
- Du Clos, B., F. A. Drummond y C. S. Loftin (2020), "Noncrop habitat use by wild bees (*Hymenoptera: Apoidea*) in a mixed-use agricultural landscape" [Uso de hábitat no agrícola por abejas silvestres (*Hymenoptera: Apoidea*) en un paisaje agrícola de uso mixto], *Environmental Entomology*, vol. 49, núm. 2, pp. 502-515.
- Duennes, M. A., C. Petranek, E. Pineda Diez de Bonilla, J. Mérida Rivas, O. Martínez López, P. Sagot, R. Vandame y S. A. Cameron (2017), "Population genetics and geometric morphometrics of the *Bombus ephippiatus* species complex with implications for its use as a commercial pollinator" [Genética de poblaciones y morfometría geométrica del complejo de especies *Bombus ephippiatus* con implicaciones para su uso como polinizador comercial], *Conservation Genetics*, vol. 18, pp. 553-572.
- ElQadi, M. M., A. Dorin, A. Dyer, M. Burd, Z. Bukovac y M. Shrestha (2017), "Mapping species distributions with social media geo-tagged images: Case studies of bees and flowering plants in Australia" [Mapeo de la distribución de especies con imágenes geoetiquetadas en redes sociales: estudios de caso sobre abejas y plantas con flor en Australia], *Ecological Informatics*, vol. 39, pp. 23-31.
- Falcón Brindis, A. y J. L. León Cortés (2023), "The oases of Baja California Peninsula: overlooked hotspots for wild bees" [Oasis de la península de Baja California: puntos críticos para las abejas silvestres], *Journal of Insect Conservation*, vol. 27, pp. 117-128.
- Forrest, J. R. K. y J. D. Thomson (2011), "An examination of synchrony between insect emergence and flowering in Rocky Mountain meadows" [Examen de la sincronía entre la aparición de insectos y la floración en las praderas de las Montañas Rocosas], *Ecological Monographs*, vol. 81, núm. 3, pp. 469-491.
- Garcillán, P. P., B. Marazzi y B. T. Wilder (2013), "Baja California Desert" [Desierto de Baja California], en R. W. Howarth (comp.) *Biodomes and Ecosystems: An Encyclopedia*, vol. 2, Salem Press, Ipswich, Massachusetts, , pp. 346-349.
- Gervais, A., V. Fournier, C. S. Sheffield y M. Chagnon (2017), "Assessing wild bee biodiversity in cranberry agroenvironments: influence of natural habitats" [Evaluación de la biodiversidad de abejas silvestres en entornos agrícolas de cultivo de arándanos: influencia de los hábitats naturales], *Journal of Economic Entomology*, vol. 110, núm. 4, pp. 1424-1432.
- Gezon, Z. J., E. S. Wyman, J. S. Ascher, D. W. Inouye y R. E. Irwin (2015), "The effect of repeated, lethal sampling on wild bee abundance and diversity" [Efecto del muestreo letal repetido en la abundancia y diversidad de las abejas silvestres], *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 6, núm. 9, pp. 1044-1054.
- Gibbs, J. (2010), "Revision of the metallic species of *Lasioglossum* (*Dialictus*) in Canada (*Hymenoptera, Halictidae, Halictini*)" [Revisión de las especies metálicas de *Lasioglossum* (*Dialictus*) en Canadá (*Hymenoptera, Halictidae, Halictini*)], *Zootaxa*, vol. 2591, pp. 1-382.

- Griffin, S. R., B. Bruninga-Socolar, M. A. Kerr, J. Gibbs y R. Winfree (2017), "Wild bee community change over a 26-year chronosequence of restored tallgrass prairie" [Cambios en la comunidad de abejas silvestres en una cronosecuencia de 26 años de pradera de pastos altos restaurada], *Restoration Ecology*, vol. 25, núm. 4, pp. 650-660.
- Grismer, L. L. (2002), *Amphibians and Reptiles of Baja California, Including its Pacific Islands and the Islands in the Sea of Cortes* [Anfibios y reptiles de Baja California, incluidas sus islas del Pacífico y del mar de Cortés], University of California Press, Berkeley, California, Estados Unidos.
- Griswold, T. L., M. Andres, R. Andrus, G. Garvin, K. Keen, L. Kerwin, O. Messinger, S. Messinger, W. Miller, K. Receveur, C. Shultz y V. J. Tepedino (1999), *A survey of the rare bees of Clark County, Nevada* [Estudio sobre abejas raras del condado de Clark, Nevada], informe final, The Nature Conservancy, Las Vegas, Nevada, Estados Unidos.
- Griswold, T. L. y W. Miller (2010), "A Revision of *Perdita* (*Xerophasma*) Timberlake (*Hymenoptera: Andrenidae*)", *Zootaxa*, vol. 2517, núm. 1, pp. 1-14.
- Griswold, T. L., V. H. González y H. Ikerd (2014), "AnthWest, occurrence records for wool carder bees of the genus *Anthidium* (*Hymenoptera, Megachilidae, Anthidiini*) in the Western Hemisphere" [Conjunto de datos AnthWest: registros de presencia de abejas cardadoras de lana del género *Anthidium* (*Hymenoptera, Megachilidae, Anthidiini*) en el hemisferio occidental], *ZooKeys*, vol. 408, pp. 31-49.
- Grixti, J. C. y L. Packer (2006), "Changes in the bee fauna (*Hymenoptera: Apoidea*) of an old field site in southern Ontario, revisited after 34 years" [Cambios en la apifauna (*Hymenoptera: Apoidea*) de un antiguo campo del sur de Ontario, reexaminado después de 34 años], *The Canadian Entomologist*, núm. 138, núm. 2, pp. 147-164.
- Hall, H. G. y J. S. Ascher (2010), "Surveys of bees (*Hymenoptera: Apoidea: Anthophila*) in natural areas of Alachua County in north-central Florida" [Sondeos poblacionales de abejas (*Hymenoptera: Apoidea: Anthophila*) en áreas naturales del condado de Alachua, en el centro norte de Florida], *Florida Entomologist*, vol. 93, núm. 4, pp. 609-629.
- Hanula, J. L., S. Horn y J. J. O'Brien (2015), "Have changing forests conditions contributed to pollinator decline in the southeastern United States?" [¿Han contribuido las condiciones cambiantes de los bosques al declive en las poblaciones de los polinizadores en el sureste de Estados Unidos?], *Forest Ecology and Management*, vol. 348, pp. 142-152.
- Hendrix, S. D., K. S. Kwaiser y S. B. Heard (2010), "Bee communities (*Hymenoptera: Apoidea*) of small Iowa hill prairies are as diverse and rich as those of large prairie preserves" [Las comunidades de abejas (*Hymenoptera: Apoidea*) de las pequeñas praderas de colina de Iowa son tan diversas y ricas como las de las reservas de vastas praderas], *Biodiversity and Conservation*, vol. 19, pp. 1699-1709.
- Heron, J. M. y C. S. Sheffield (2015), "First record of the *Lasioglossum* (*Dialictus*) *petrellum* species group in Canada" [Primer registro del grupo de especies *Lasioglossum* (*Dialictus*) *petrellum* en Canadá], *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, vol. 112, pp. 88-91.

- Hicks, B. y C. Sheffield (2021), "Native bees (*Hymenoptera; Apoidea*) collected from Labrador, Canada" [Abejas nativas (*Hymenoptera; Apoidea*) recolectadas en Labrador, Canadá], *Journal of the Acadian Entomological Society*, vol. 17, pp. 20-24.
- Hostetler, N. E. y M. E. McIntyre (2001), "Effects of urban land use on pollinator (*Hymenoptera: Apoidea*) communities in a desert metropolis" [Efectos del uso del suelo urbano en las comunidades de polinizadores (*Hymenoptera: Apoidea*) de una metrópolis desértica], *Basic and Applied Ecology*, vol. 2, núm. 3, pp. 209-218.
- Hurd, P. y C. D. Michener (1955), *The Megachiline Bees of California* [Abejas megachilinas de California], University of California Press, Berkeley, California, Estados Unidos.
- Javorek, S. K. y M. C. Grant (2011), *Trends in wildlife habitat capacity on agricultural land in Canada 1986-2006* [Tendencias de la capacidad de hábitat de vida silvestre en suelos agrícolas de Canadá, 1986-2006], informe técnico temático núm. 14, *Canadian Biodiversity: Ecosystem Status and Trends 2010*, Canadian Councils of Resource Ministers, Ottawa, Canadá.
- Jones, D. y G. Jones (1980), "Records of bees *Hymenoptera apoidea* from Alabama USA" [Registros de abejas *Hymenoptera, Apoidea* de Alabama, Estados Unidos], *Journal of the Georgia Entomological Society*, vol. 15, núm. 1, pp. 56-65.
- Kazenel, M. R., K. W. Wright, J. Bettinelli, T. L. Griswold, K. D. Whitney y J. A. Rudgers (2020), "Predicting changes in bee assemblages following state transitions at North American dryland ecotones" [Predicción de cambios en las agrupaciones de abejas tras transiciones de estado en ecotonos de tierras secas de América del Norte], *Scientific Reports*, vol. 10, núm. 1, p. 708.
- Klein, A. M., B. E. Vaissière, J. H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen y T. Tscharrntke (2006), "Importance of pollinators in changing landscapes for world crops" [Importancia de los polinizadores en entornos cambiantes para los cultivos del mundo], *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 274, núm. 1608, pp. 303-313.
- Knapp, A. K., J. M. Blair, J. M. Briggs, S. L. Collins, D. C. Hartnett, L. C. Johnson y E. G. Towne (1999), "The keystone role of bison in North American tallgrass prairie: Bison increase habitat heterogeneity and alter a broad array of plant, community, and ecosystem processes" [El papel clave del bisonte en las praderas de pastos altos de América del Norte: los bisontes aumentan la heterogeneidad del hábitat y alteran una amplia diversidad especies vegetales, comunidades y procesos ecosistémicos], *BioScience*, vol. 49, núm. 1, pp. 39-50.
- Koch, J. B., R. Vandame, J. Mérida Rivas, P. Sagot y J. Strange (2018), "Quaternary climate instability is correlated with patterns of population genetic variability in *Bombus huntii*" [La inestabilidad climática del Cuaternario se correlaciona con patrones de variabilidad genética poblacional en *Bombus huntii*], *Ecology and Evolution*, vol. 8, núm. 16, pp. 7849-7864.
- Krombein, K. V., P. D. Hurd, D. R. Smith y B. D. Burks (1979), *Catalog of Hymenoptera in America north of Mexico* [Catálogo de los himenópteros en América al norte de México], Smithsonian Institution Press, Washington, DC, vol. 2, pp. 1199-2209.

- Laverty, T. M. y L. D. Harder (1988), "The bumble bees of eastern Canada" [Abejorros del este de Canadá], *The Canadian Entomologist*, vol. 120, núm. 11, pp. 965-987.
- Liczner, A. R., R. Schuster, L. L. Richardson y S. R. Colla (2023), "Identifying conservation priority areas for North American bumble bee species in Canada under current and future climate scenarios" [Identificación de las áreas prioritarias para la conservación de las especies de abejorros de América del Norte en Canadá según escenarios climáticos actuales y futuros], *Conservation Science and Practice*, vol. 5, núm. 8, id.: e12994.
- Little, C. Z. (2013), *Bee communities in the Arkansas River Valley* [Comunidades de abejas en el valle del río Arkansas], tesis, Universidad de Arkansas Central, Estados Unidos.
- MacKay, P. A. y G. Knerer (1979), "Seasonal occurrence and abundance in a community of wild bees from an old field habitat in southern Ontario" [Presencia estacional y abundancia en una comunidad de abejas silvestres de un antiguo hábitat rural del sur de Ontario], *The Canadian Entomologist*, vol. 111, núm. 3, pp. 367-376.
- Martins, K. T., C. H. Albert, M. J. Lechowicz y A. González (2018), "Complementary crops and landscape features sustain wild bee communities" [Cultivos complementarios y características del paisaje sustentan comunidades de abejas silvestres], *Ecological Applications*, vol. 28, núm. 4, pp. 1093-1105.
- Martins, K. T., A. González y M. J. Lechowicz (2015), "Pollination services are mediated by bee functional diversity and landscape context" [Los servicios de polinización dependen de la diversidad funcional de las abejas y del contexto paisajístico], *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 200, pp. 12-20.
- McAlister, C. G. (2012), *An insect pollinator survey at the Chihuahuan Desert Research Institute (CDRI), Jeff Davis County, Texas, and a comparison of the native bee diversity of the CDRI's Botanical Gardens to the surrounding grasslands using pan traps* [Estudio de insectos polinizadores en el Instituto de Investigaciones del Desierto de Chihuahua (CDRI), condado de Jeff Davis, Texas, y comparación de la diversidad de abejas nativas de los Jardines Botánicos del CDRI con aquella de las praderas circundantes mediante el uso de platos trampa], tesis, Universidad Estatal Sul Ross, Texas, Estados Unidos.
- McCoshum, S. M. y M. A. Geber (2019), "Land conversion for solar facilities and urban sprawl in southwest deserts causes different amounts of habitat loss for *Ashmeadiella* bees" [La conversión del uso del suelo para instalaciones solares y la expansión urbana en los desiertos del suroeste provocan, en distintas cantidades, pérdida de hábitat para las abejas *Ashmeadiella*], *Journal of the Kansas Entomological Society*, vol. 92, núm. 2, pp. 468-478.
- McMillan, N. A., K. E. Kunkel, D. L. Hagan y D. S. Jachowski (2019), "Plant community responses to bison reintroduction on the Northern Great Plains, United States: a test of the keystone species concept" [Respuestas de la comunidad vegetal a la reintroducción del bison en las Grandes Llanuras del norte, Estados Unidos: una prueba del concepto de especie clave], *Restoration Ecology*, vol. 27, núm. 2, pp. 379-388.
- Meiners, J. M., T. L. Griswold, T. L. y O. M. Carril (2019), "Decades of native bee biodiversity surveys at Pinnacles National Park highlight the importance of monitoring natural areas over time" [Décadas de

- estudios sobre la biodiversidad de las abejas nativas en el Parque Nacional de Pinnacles ponen de relieve la importancia de monitorear las zonas naturales a lo largo del tiempo], *PLoS One*, vol. 14, núm. 1, id.: e0207566.
- Messinger, O. y T. L. Griswold (2002), “A pinnacle of bees” [Un pináculo de abejas], *Fremontia*, vol. 30, núm. 3-4, pp. 32-40.
- Minckley, R. L. (2014), “Maintenance of richness despite reduced abundance of desert bees (*Hymenoptera: Apiformes*) to persistent grazing” [Preservación de la riqueza a pesar de la reducción de la abundancia de abejas del desierto (*Hymenoptera: Apiformes*) a causa del pastoreo persistente], *Insect Conservation and Diversity*, vol. 7, núm. 3, pp. 263-273.
- Minckley, R. L. y J. S. Ascher (2013), “Preliminary survey of bee (*Hymenoptera: Anthophila*) richness in the northwestern Chihuahuan Desert” [Estudio preliminar de la riqueza de abejas (*Hymenoptera: Anthophila*) en el noroeste del desierto de Chihuahua], en G. J. Gottfried, P. F. Folliott, B. S. Gebow, L. G. Eskew y L. C. Collins (eds.), *Merging science and management in a rapidly changing world: Biodiversity and management of the Madrean Archipelago III and 7th Conference on Research and Resource Management in the Southwestern Deserts* [Fusión de ciencia y manejo en un mundo de cambios vertiginosos: Biodiversidad y gestión del archipiélago Madreano III y séptima conferencia sobre investigación y gestión de recursos en los desiertos del suroeste], 1-5 de mayo de 2012, Tucson, Arizona, memorias, RMRS–P-67, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Fort Collins, Colorado, pp. 138-143.
- Minckley, R. L., J. H. Cane y L. Kervin (2000), “Origins and ecological consequences of pollen specialization among desert bees” [Orígenes y consecuencias ecológicas de la especialización en el polen de las abejas del desierto], *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 267, núm. 1440, pp. 265-271.
- Minckley, R. L., J. H. Cane, L. Kervin y T.H. Roulston (1999), “Spatial predictability and resource specialization of bees (*Hymenoptera: Apoidea*) at a superabundant, widespread resource” [Previsibilidad espacial y especialización en recursos de las abejas (*Hymenoptera: Apoidea*) en un recurso superabundante y extendido], *Biological Journal of the Linnean Society*, vol. 67, núm. 1, pp. 119-147.
- 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” [Influencia de los cortavientos y los linderos forestales en la abundancia y riqueza de especies polinizadoras nativas en campos de moras azules de arbusto bajo en Quebec, Canadá], *The Canadian Entomologist*, vol. 147, núm. 4, pp. 432-442.
- Munguía Soto, E. O., J. K. Golubov y M. C. Mandujano (2022), “Demography of bee pollinators in the Chihuahuan Desert: how to tell if their populations are declining?” [Demografía de las abejas polinizadoras en el desierto de Chihuahua: ¿cómo saber si sus poblaciones están disminuyendo?], preimpresión, doi:10.21203/rs.3.rs-2281442/v1.

- National Park Service (2023), *Indigenous Knowledge and Traditional Ecological Knowledge* [Saberes indígenas y conocimiento ecológico tradicional], portal del Servicio Nacional de Parques, en: <<https://www.nps.gov/subjects/tek/description.htm>>.
- Nelson, R. A. y T. L. Griswold (2015), "The floral hosts and distribution of a supposed creosote bush specialist, *Colletes stephensi* Timberlake (*Hymenoptera: Colletidae*)" [Hospederos florales y distribución de una supuesta especialista en gobernadora, *Colletes stephensi*, descrita por Timberlake (*Hymenoptera: Colletidae*), *Journal of Melittology*, núm. 49, pp. 1-12.
- Odanaka, K., J. Gibbs, N. E. Turley, R. Isaacs y L. A. Brudvig (2020), "Canopy thinning, not agricultural history, determines early responses of wild bees to longleaf pine savanna restoration" [El clareo del dosel forestal, y no la historia agrícola, determina las respuestas tempranas de las abejas silvestres a la restauración de la sabana de pino de hoja larga], *Restoration Ecology*, vol. 28, núm. 1, pp. 138-146.
- Orr, M. C., A. C. Hughes, D. Chesters, J. Pickering, C. D. Zhu y J. S. Ascher (2021), "Global patterns and drivers of bee distribution" [Patrones globales y factores de cambio en la distribución de las abejas], *Current Biology*, vol. 31, núm. 3, pp. 451-458.
- Owens, B. E., L. Allain, E. C. Van Gorder, J. L. Bossart y C. E. Carlton (2018), The bees (*Hymenoptera: Apoidea*) of Louisiana: an updated, annotated checklist [Abejas (*Hymenoptera: Apoidea*) de Luisiana: lista de verificación actualizada y comentada], *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, vol. 120, núm. 2, pp. 272-307.
- Packer, L., V. Jessome, C. Lockerbie y B. Sampson (1989), "The phenology and social biology of four sweat bees in a marginal environment: Cape Breton Island" [Fenología y biología social de cuatro abejas halictidas en un entorno ambiental marginal: isla de Cabo Bretón], *Canadian Journal of Zoology*, vol. 67, núm. 12, pp. 2871-2877.
- Pascarella, J. B., K. D. Waddington y P. R. Neal (1999), "The bee fauna (*Hymenoptera: Apoidea*) of Everglades National Park, Florida and adjacent areas: distribution, phenology, and biogeography" [Apifauna (*Hymenoptera: Apoidea*) del Parque Nacional de los Everglades, Florida, y zonas adyacentes: distribución, fenología y biogeografía], *Journal of the Kansas Entomological Society*, vol. 72, pp. 32-45.
- Patenaude, A. M. (2007), *Diversity, composition and seasonality of wild bees (Hymenoptera: Apoidea) in a northern mixed-grass prairie preserve* [Diversidad, composición y estacionalidad de las abejas silvestres (*Hymenoptera: Apoidea*) en una reserva de praderas mixtas del norte], tesis, Universidad de Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canadá.
- Portman, Z. M., V. J. Tepedino y A. D. Tripodi (2019), "Persistence of an imperiled specialist bee and its rare host plant in a protected area" [Persistencia de una abeja especialista en peligro y su rara planta hospedera en un área protegida], *Insect Conservation and Diversity*, vol. 12, núm. 3, pp. 183-192.
- Proctor, E., E. Nol, D. Burke y W. J. Crins (2012), "Responses of insect pollinators and understory plants to silviculture in northern hardwood forests" [Respuestas de los insectos polinizadores y las plantas

- del sotobosque a la silvicultura en bosques latifoliados del norte], *Biodiversity and Conservation*, vol. 21, núm. 7, pp. 1703-1740.
- Ratzlaff, C. G. (2018), "New records of *Hymenoptera* from British Columbia and Yukon" [Nuevos registros de *Hymenoptera* en Columbia Británica y Yukón], *Journal of the Entomological Society of British Columbia*, vol. 115, pp. 110-122.
- Richards, M. H., A. Rutgers-Kelly, J. Gibbs, J. L. Vickruck, S. M. Rehan y C. S. Sheffield (2011), "Bee diversity in naturalizing patches of Carolinian grasslands in southern Ontario, Canada" [Diversidad de abejas en remanentes restaurados de pastizales carolinianos en el sur de Ontario, Canadá], *The Canadian Entomologist*, vol. 143, núm. 3, pp. 279-299.
- Riemann, H. y E. Exequiel (2007), "Endemic regions of the vascular flora of the peninsula of Baja California, Mexico" [Regiones endémicas de la flora vascular de la península de Baja California, México], *Journal of Vegetation Science*, vol. 18, núm. 3, pp. 327-336.
- Rondeau, S., A. Gervais, A. Leboeuf, A. P. Drapeau Picard, M. Larrivée y V. Fournier (2023), "Combining community science and taxonomist expertise for large-scale monitoring of insect pollinators: Perspective and insights from Abeilles citoyennes" [Combinación de la ciencia comunitaria y la experiencia de especialistas en taxonomía para el monitoreo a gran escala de insectos polinizadores: perspectivas y reflexiones de Abeilles citoyennes], *Conservation Science and Practice*, vol. 5, núm. 10, id.: e13015.
- Sakagami, S. F. y M. J. Toda (1986), "Some Arctic and Subarctic solitary bees collected at Inuvik and Tuktoyaktuk, NWT, Canada (*Hymenoptera: Apoidea*)" [Algunas abejas solitarias árticas y subárticas recolectadas en Inuvik y Tuktoyaktuk, Territorios del Noroeste, Canadá (*Hymenoptera: Apoidea*)], *The Canadian Entomologist*, vol. 118, núm. 5, pp. 395-405.
- Samson, F. B., F. L. Knopf y W. R. Ostlie (2004), "Great Plains ecosystems: past, present, and future" [Ecosistemas de las Grandes Llanuras: pasado, presente y futuro], *Wildlife Society Bulletin*, vol. 32, núm. 1, pp. 6-15.
- Saturni, F. T., R. Jaffe y J. P. Metzger (2016), "Landscape structure influences bee community and coffee pollination at different spatial scales" [La estructura del paisaje influye en la comunidad de abejas y la polinización del café a diferentes escalas espaciales], *Agriculture, Ecosystems & Environment*, núm. 235, pp. 1-12.
- Schindler, M., O. Diestelhorst, S. Haertel, C. Saure, A. Scharnowski y H. R. Schwenninger (2013), "Monitoring agricultural ecosystems by using wild bees as environmental indicators" [Monitoreo de ecosistemas agrícolas mediante el uso de abejas silvestres como indicadores ambientales], *BioRisk*, vol. 8, pp. 53-71.
- Schlueter, M. A. y N. G. Stewart (2015), "Native bee (*Hymenoptera: Apoidea*) abundance and diversity in north Georgia apple orchards throughout the 2010 growing season (March to October)" [Abundancia y diversidad de abejas nativas (*Hymenoptera: Apoidea*) en los manzanares del norte de Georgia durante la temporada de cultivo de 2010 (de marzo a octubre)], *Southeastern Naturalist*, vol. 14, núm. 4, pp. 721-739.

- Seltmann, K. C., J. Allen, B. V. Brown, A. Carper, M. S. Engel, N. Franz, E. Gilbert, C. Grinter, V. H. Gonzalez, P. Horsley, S. Lee, C. Maier, I. Miko, I., P. Morris, P. Oboyski, N. E. Pierce, J. Poelen, V. L. Scott, M. Smith, E. J. Talamas, N. D. Tsutsui y E. Tucker (2021), "Announcing Big-Bee: An initiative to promote understanding of bees through image and trait digitization" [Anuncio de Big-Bee: iniciativa para fomentar el conocimiento de las abejas mediante la digitalización de imágenes y rasgos], *Biodiversity Information Science and Standards*, núm. 5, id.: e74037, doi.org/10.3897/biss.5.74037.
- Sheffield, C. S., S. D. Frier y S. Dumesh (2014), "The Bees (*Hymenoptera: Apoidea, Apiformes*) of the Prairies Ecozone, with Comparisons to other Grasslands of Canada" [Abejas (*Hymenoptera: Apoidea, Apiformes*) de la ecozona de las praderas, en comparación con otras praderas de Canadá], en D. J. Giberson y H. A. Cárcamo (eds.), *Arthropods of Canadian Grasslands*, vol. 4, *Biodiversity and Systematics*, parte 2, Biological Survey of Canada, Ottawa, pp. 427-467.
- Sheffield, C. S., C. Ratti, L. Packer y T. L. Griswold (2011), "Leafcutter and mason bees of the genus *Megachile Latreille* (*Hymenoptera: Megachilidae*) in Canada and Alaska" [Abejas cortadoras de hojas y abejas albañiles del género *Megachile Latreille* (*Hymenoptera: Megachilidae*) en Canadá y Alaska], *Canadian Journal of Arthropod Identification*, núm. 18, pp. 1-107, doi:10.3752/cjai.2011.18.
- Shorthouse, J. D. (2010), "Ecoregions of Canada's prairie grasslands" [Ecorregiones de las praderas canadienses], en J. D. Shorthouse y K. D. Floate (eds.), *Arthropods of Canadian Grasslands*, vol. 1: *Ecology and Interactions in Grassland Habitats*, Biological Survey of Canada, Ottawa, pp. 53-81.
- Shreve, F. e I. L. Wiggins (1964), *Vegetation and flora of the Sonoran Desert* [Vegetación y flora del desierto de Sonora], vol. 1, Stanford University Press, Palo Alto, California, Estados Unidos.
- Slupik, O., F. McCune, C. Watson, R. Proulx y V. Fournier (2022), "Response of bee and hoverfly populations to a land-use gradient in a Quebec floodplain" [Respuesta de las poblaciones de abejas y moscas de las flores o sírfidos a un gradiente de uso del suelo en una llanura aluvial de Quebec], *Journal of Insect Conservation*, vol. 26, núm. 6, pp. 919-932.
- Soroye, P., T. Newbold y J. Kerr (2020), "Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents" [El cambio climático contribuye a un declive generalizado de las poblaciones de abejorros en todos los continentes], *Science*, vol. 367, núm. 6478, pp. 685-688.
- Steffan-Dewenter, I., S. G. Potts y L. Packer (2005), "Pollinator diversity and crop pollination services are at risk" [La diversidad de los polinizadores y los servicios de polinización de los cultivos están en situación de riesgo], *Trends in ecology and evolution*, vol. 20, núm. 12, pp. 651-652.
- Stemkovski, M., W. D. Pearse, S. R. Griffin, G. L. Pardee, J. Gibbs, T. L. Griswold, J. L. Neff, R. Oram, M. G. Rightmyer, C. S. Sheffield, K. Wright, B. D. Inouye, D. W. Inouye y R. E. Irwin (2020), "Bee phenology is predicted by climatic variation and functional traits" [La fenología de las abejas se predice por medio de la variación climática y los rasgos funcionales], *Ecology Letters*, vol. 23, núm. 11, pp. 1589-1598.
- Stephenson, P. L., T. L. Griswold, M. S. Arduser, A. P. Dowling y D. G. Kremenetz (2018), "Checklist of bees (*Hymenoptera: Apoidea*) from managed emergent wetlands in the lower Mississippi Alluvial Valley of Arkansas" [Lista de verificación de abejas (*Hymenoptera: Apoidea*) de humedales emergentes

- objeto de manejo en el valle aluvial del bajo Misisipi en Arkansas], *Biodiversity Data Journal*, núm. 6, id.: e24071, doi:10.3897/BDJ.6.e24071.
- Stubbs, C. J., F. Drummond y H. Ginsberg (2007), "Effects of invasive plant species on pollinator service and reproduction in native plants at Acadia National Park" [Efectos de especies de plantas invasoras en el servicio de polinizadores y la reproducción de plantas nativas en el Parque Nacional de Acadia], informe técnico núm. NPS/NER/NRTR—2007/096, US Department of the Interior, National Park Service, Northeast Region.
- Syer, F. (2016), *Canopy gaps are hotspots for bees and rare plants in an oak savannah-woodland system in southern Ontario* [Los claros en el dosel forestal constituyen puntos calientes para las abejas y las plantas raras en un sistema de robledal y sabana del sur de Ontario], disertación doctoral, Universidad de Guelph, Ontario, Canadá.
- Tarbill, G. L. (2022), *The birds and the bees, flowers and burnt trees: plant-pollinator communities after fire in the Sierra Nevada of California* [Pájaros y abejas, flores y árboles quemados: comunidades de plantas y polinizadores tras un incendio en la Sierra Nevada de California], disertación doctoral, Universidad de California, Davis, California, Estados Unidos.
- Taylor, A. N. (2007), *Bee communities as bioindicators for oak savannah restoration* [Comunidades de abejas como bioindicadores para la restauración de sabanas de robles], tesis, Universidad de York, Toronto, Ontario, Canadá.
- Tonietto, R. K., J. S. Ascher y D. J. Larkin (2017), "Bee communities along a prairie restoration chronosequence: similar abundance and diversity, distinct composition" [Comunidades de abejas a lo largo de una cronosecuencia de restauración de praderas: abundancia y diversidad similares, composición distinta], *Ecological Applications*, vol. 27, núm. 3, pp. 705-717.
- Ulyshen, M. D. y S. Horn (2023), "Declines of bees and butterflies over 15 years in a forested landscape" [Declive de las poblaciones de abejas y mariposas a lo largo de 15 años en un paisaje forestal], *Current Biology*, vol. 33, núm. 7, pp. 1346-1350.
- Ulyshen, M. D., V. Soon y J. L. Hanula (2010), "On the vertical distribution of bees in a temperate deciduous forest" [Sobre la distribución vertical de las abejas en un bosque caducifolio templado], *Insect Conservation and Diversity*, vol. 3, núm. 3, pp. 222-228.
- Ulyshen, M. D., A. C. Wilson, G. C. Ohlson, S. M. Pokswinski y J. K. Hiers (2021), "Frequent prescribed fires favour ground-nesting bees in southeastern US forests" [Los incendios prescritos frecuentes favorecen a las abejas que nidifican en el suelo en los bosques del sureste de Estados Unidos], *Insect Conservation and Diversity*, vol. 14, núm. 4, pp. 527-534.
- Vankosky, M. A., H. A. Cárcamo, H. A. Catton, A. C. Costamagna y R. de Clerck-Floate (2017), "Impacts of the agricultural transformation of the Canadian Prairies on grassland arthropods" [Repercusiones de la transformación agrícola de las praderas canadienses en los artrópodos de pastizal], *The Canadian Entomologist*, vol. 149, núm. 6, pp. 718-735.
- Vega, S., H. Vázquez Rivera, E. Normandin, V. Fournier y J. P. Lessard (2023), "Large remaining forest habitat patches help preserve wild bee diversity in cultivated blueberry bush" [Extensos remanentes

de hábitat forestal ayudan a preservar la diversidad de las abejas silvestres en los arbustos de moras azules cultivados], *Diversity*, vol. 15, núm. 3, art. 405.

Westerfelt, P., J. Weslien y O. Widenfalk (2018), "Population patterns in relation to food and nesting resource for two cavity-nesting bee species in young boreal forest stands" [Patrones poblacionales en relación con los recursos alimentarios y de nidificación de dos especies de abejas que anidan en cavidades en masas forestales boreales jóvenes], *Forest Ecology and Management*, vol. 430, pp. 629-638.

Woodard, S. H., S. Federman, R. R. James, B. N. Danforth, T. L. Griswold, D. W. Inouye, Q. S. Mcfrederick, L. Morandin, D. L. Paul, E. Sellers, J. P. Strange, M. Vaughan, N. M. Williams, M. G. Branstetter, C. T. Burns, J. Cane, A. B. Cariveau, D. P. Cariveau, A. Childers [...] y W. Wehling (2020), "Towards a U.S. national program for monitoring native bees" [Hacia un programa nacional estadounidense para el monitoreo de abejas nativas], *Biological Conservation*, vol. 252, id.: 108821, doi: 10.1016/j.biocon.2020.108821.

Zattara, E. E. y M. A. Aizen (2021), "Worldwide occurrence records suggest a global decline in bee species richness" [Los registros mundiales de presencia sugieren una disminución global en la riqueza de especies de abejas], *One Earth*, vol. 4, núm. 1, pp. 114-123.