

Riesgos y oportunidades asociados con la conservación de polinizadores y la gestión de los servicios de polinización en América Latina

LEONARDO GALETTO¹ ✉; MARCELO A. AIZEN²; M. DEL CORO ARIZMENDI³; BRENO M. FREITAS⁴; LUCAS A. GARIBALDI⁵; TEREZA C. GIANNINI⁶; ARIADNA V. LOPES⁷; MÁRIO M. DO ESPÍRITO SANTO⁸; MÁRCIA M. MAUÉS⁹; GUIOMAR NATES-PARRA¹⁰; JAIME I. RODRÍGUEZ¹¹; JOSÉ JAVIER G. QUEZADA-EUÁN¹²; REMY VANDAME¹³; BLANDINA F. VIANA¹⁴ & VERA L. IMPERATRIZ-FONSECA⁶

¹Departamento de Diversidad Biológica y Ecología, FCEF y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (UNC), and Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (IMBIV), Córdoba, Argentina. ²Laboratorio Ecotono, INIBIOMA, Universidad Nacional del Comahue-CONICET, Río Negro, Argentina. ³Universidad Nacional Autónoma de México, Tlalnepantla, México, México. ⁴Universidade Federal do Ceará, Departamento de Zootecnia, Setor de Abelhas, Fortaleza, Ceará, Brazil. ⁵Universidad Nacional de Río Negro, Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural, Río Negro, Argentina. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, and Instituto de Investigaciones en Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural, Río Negro, Argentina. ⁶Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentavel, Belem, Para, Brazil. ⁷Departamento de Botânica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil. ⁸Departamento de Biologia Geral/CCBS Universidade Estadual de Montes Claros, MG, Brasil. ⁹Embrapa Amazônia Oriental, Laboratório de Entomologia, Belém, Pará, Brazil. ¹⁰Universidad Nacional de Colombia, Bogotá DC, Colombia. ¹¹Museo Nacional de Historia Natural de Bolivia, La Paz, Bolivia. ¹²Departamento de Apicultura Tropical-FMVZ- Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México. ¹³El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de las Casas, Chiapas, Mexico. ¹⁴Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brazil.

Leonardo Galetto: leo@imbiv.unc.edu.ar; Marcelo A. Aizen: marcelo.aizen@gmail.com; María del Coro Arizmendi: corou@unam.mx; Breno M. Freitas: freitas@ufc.br; Lucas A. Garibaldi: lgaribaldi@unrn.edu.ar; Tereza C. Giannini: tereza.giannini@itv.org; Ariadna V. Lopes: avflopes@yahoo.com; Mario Marcos: marioesanto@gmail.com; Marcia Motta Maues: marcia.maues@embrapa.br; Guiomar Nates-Parra: mgnatesp@gmail.com; Jaime Rodríguez: jaimerodriguez0001@gmail.com; J. Javier Quezada-Euán: mayanbees@hotmail.com; Rémy Vandame: remy.vandame@gmail.com; Blandina F. Viana: blandefv@ufba.br; Vera Lucia Emperatriz Fonseca: vlifonse@ib.usp.br

ABSTRACT. The conservation status of pollinators and pollination in Latin America (LA) is reviewed. The knowledge regarding native and managed pollinators (e.g., honeybee and stingless bees) and pollination services was synthesized, and the guidelines to improve the opportunities for conservation are provided, considering the threats to pollinators and the perspectives from traditional and local knowledge. The analysis indicates that diverse threats (e.g., large-scale agriculture, deforestation, overuse of agrochemicals) are linked with pollination and pollinator decline, which affect the reproduction of most native plants and the yields of many crops. LA harbours the highest bee diversity worldwide, with 26% of the total recorded species, and it is a biodiversity hotspot of vertebrate pollinators, including hummingbirds, perching birds, nectarivorous bats and other mammal pollinators. Specific recommendations to conserve native pollinators and to improve pollination services are provided, which could be considered by stakeholders and governments aiming to elaborate biocultural conservation. For example, to introduce policies and legal responses for incentives to improve diversified crop production with agroecological practices, to replace or reduce agrochemicals and to maintain natural habitats and forests; to refine agrochemical regulations for minimize the exposure of pollinators to insecticides and herbicides; to improve knowledge and education on pollinators and pollination for increase the opportunity to change current hegemonic agricultural practices and consumption patterns, and to integrate different land ethical views of ethnic minorities for emphasize a sustainable relationship between production and biodiversity. A wider view combining social, ecological, cultural dimensions may support better decision making. This holistic socio-agroecological perspective is urgently needed to conserve and manage pollinators at different spatial and temporal scales, and to integrate pollination services, pollinator-friendly habitat management approaches and diversified farming systems.

Keywords: biodiversity, environmental policies, pollination deficit, pollinator decline, pollination services, traditional local knowledge

RESUMEN. Riesgos y oportunidades asociados con la conservación de los polinizadores y la gestión de los servicios de polinización en América Latina. Se realizó una revisión sobre el estado de conservación de los polinizadores y la polinización en América Latina (AL). Se presentan pautas para mejorar las oportunidades de conservación, considerando las amenazas a los polinizadores y las perspectivas desde el conocimiento tradicional y local. El análisis indica que diversas amenazas (e.g., agricultura a gran escala, deforestación, uso excesivo de agroquímicos) están vinculadas con la disminución de polinizadores, afectando la reproducción de las plantas nativas y los rendimientos de muchos cultivos. AL alberga la mayor diversidad de

abejas en todo el mundo y una gran diversidad de polinizadores vertebrados (e.g., colibríes, aves de percha nectarívoras, murciélagos nectarívoros y otros mamíferos). Se proporcionan recomendaciones para proteger los polinizadores nativos y mejorar los servicios de polinización, las que podrían ser consideradas por los tomadores de decisiones y así promover la conservación biocultural. Por ejemplo, desarrollar instrumentos legales, políticas e incentivos para ayudar a los agricultores a mantener los hábitats naturales, para reemplazar o reducir el uso de agroquímicos y para promover las prácticas agroecológicas; perfeccionar las reglamentaciones sobre aplicación de agroquímicos para minimizar la exposición de los polinizadores a insecticidas y herbicidas; mejorar la comunicación pública del conocimiento sobre los polinizadores y la polinización para incentivar un cambio en las prácticas agrícolas hegemónicas y los patrones de consumo actuales; considerar otras éticas ambientales de las minorías étnicas para enfatizar la necesidad de promover una relación sostenible entre producción de alimentos y biodiversidad. Se necesita urgentemente una visión más amplia que combine las dimensiones sociales, ecológicas y culturales para una mejor toma de decisiones. Esta perspectiva socio-agroecológica holística es importante para conservar y gestionar los polinizadores a diferentes escalas espaciales y temporales, y para poder integrar los servicios de polinización con enfoques de gestión del territorio favorables a los polinizadores y con sistemas agrícolas diversificados.

Palabras clave: biodiversidad, políticas ambientales, déficit de polinización, disminución de polinizadores, servicios de polinización, conocimiento local tradicional.

INTRODUCCIÓN

Los polinizadores proporcionan un amplio espectro de beneficios al bienestar humano, ya que contribuyen a mantener las poblaciones de la mayoría de las plantas silvestres al asegurar su reproducción y promover su diversidad genética (IPBES 2016). Asimismo, los polinizadores se relacionan con la producción de frutos y semillas de muchos cultivos que alimentan a la humanidad, proveyendo de micronutrientes vitales (por ejemplo, vitaminas, minerales, carotenoides), al tiempo que desempeñan un papel importante en la integridad del funcionamiento de los ecosistemas (e.g., Eilers et al. 2011; Smith et al. 2015; Ghosh y Jung 2018). Además, los polinizadores están profundamente relacionados con los valores culturales y espirituales de las comunidades humanas (IPBES 2016; Quezada-Euán et al. 2018; Hill et al. 2019).

La mayoría de los polinizadores son insectos, como abejas, moscas, mariposas, polillas, avispa y escarabajos, pero también aves que se posan para visitar las flores, colibríes, murciélagos y otros mamíferos (e.g., Buchmann y Nabhan 1996; Kevan 1999). Las abejas son consideradas el grupo más importante de visitantes florales porque polinizan el 40-50% de todas las angiospermas, y algunas pueden ser manejadas para su uso en la agricultura en América Latina (AL) (Freitas et al. 2009; IPBES 2016), como la abeja de la miel que es exótica (*Apis mellifera*) y muchas abejas nativas (Vandame y Palacio 2010; Giannini et al. 2015; Maggi et al. 2016). Por ejemplo, diferentes especies de abejas polinizan el 66% de los cultivos brasileños (Wolowski et al. 2019).

América Latina (AL: todos los países de América del Sur y Central, el Caribe y México) posee biomas tropicales, subtropicales y templados únicos y sorprendentes por su alta heterogeneidad paisajística, y que incluyen una gran diversidad natural y cultural (e.g., Quezada-Euán et al. 2018). Al mismo tiempo, AL muestra tasas de deforestación cercanas a los niveles mundiales, con Brasil e Indonesia entre los países con mayor cantidad de pérdida de bosques tropicales entre 1980 y 2005 (Achard et al. 2002). Se ha registrado una pérdida forestal de >50Mha en AL para el período 2001-2011, con más de 30Mha deforestadas solo en Brasil (Pendrill y Persson 2017). América Latina es también un gran exportador mundial de materias primas (es decir, productos básicos que se pueden consumir directamente, como los de la agricultura, pero que además se compran y venden en mercados internacionales, como la soja, el maíz o el café), con vastas áreas de vegetación natural convertidas en tierras de cultivo agrícola (e.g., Lapola et al. 2014; le Polain de Waroux et al. 2018). Se registró una deforestación alta y continua en Chile, Argentina, Ecuador, Paraguay, Brasil y México durante el período 1980-2010, con la expansión de las tierras para agricultura o para pastoreo del ganado, como los principales impulsores directos de la deforestación (Armenteras et al. 2017). Este escenario productivista implica muchas amenazas a la naturaleza y a las personas, con la aparición de conflictos socio-ecológicos. Por ejemplo, los cambios vertiginosos en el uso de la tierra impulsan la pérdida de diversidad biocultural a través de la destrucción y fragmentación del hábitat, lo que afecta a muchos procesos ecológicos (Grez y Galetto 2011). Además, también existen amenazas directas (es decir, las que determinan la pérdida de hábitat) e indirectas (es decir, los daños no específicos que también afectan a la biodiversidad) para los polinizadores, incluida la intensificación de la agricultura a gran escala, la creciente aplicación de plaguicidas y la aparición de especies invasoras, patógenos y cambio climático (Freitas et al. 2009; Vandame y Palacio 2010; Giannini et al. 2017; FAO 2019; Wolowski et al. 2019), las que pueden actuar de manera aditiva y desencadenar la disminución de los polinizadores y aumentar los déficits de polinización en las plantas

nativas y en muchos cultivos (Lopes et al. 2009; Ferreira et al. 2015; Hipólito et al. 2018). Los aumentos en la aplicación de pesticidas han sido diferentes entre las regiones continentales (Vryzas et al. 2020). Por ejemplo, la cantidad total de plaguicidas aplicados por año en Europa y América del Norte se mantuvo estable entre 1990 y 2018 (alrededor de 0,45-0,50 Mton /año), pero se registraron aumentos continuos en África, Asia y América Central (25, 95 y 97%, respectivamente), y muy superiores en América del Sur (>480%; FAO 2019).

Los procesos de toma de decisiones involucran los valores, creencias y perspectivas de los diferentes actores sociales, con conflictos derivados de los hábitos en disputa sobre el ambiente (Rozzi 2013). Sin embargo, los valores que se resaltan u oscurecen pueden cambiar de acuerdo con las perspectivas de las diferentes partes interesadas (Galetto et al. 2019). Muchos indicadores económicos y ambientales no pueden capturar los beneficios de los polinizadores y la polinización para los seres humanos, o los costos totales de la agricultura industrial, porque se centran principalmente en los rendimientos de los cultivos y no tienen en cuenta las externalidades ambientales (Galetto et al. 2018; Hill et al. 2019). Sin embargo, la toma de decisiones acertada debe incluir la pluralidad de valores y perspectivas de las sociedades en las que tiene lugar.

Los países en desarrollo generalmente sufren los usos extractivos de la tierra (por ejemplo, la silvicultura industrial o la agricultura y minería a gran escala) para el desarrollo económico de una pequeña proporción de la sociedad por acumulación por desposesión (Harvey 2003), causando la conversión de ecosistemas naturales en nuevos paisajes cada vez más degradados, amenazando la biodiversidad y afectando principalmente a personas con bajos ingresos (Cáceres 2015; Pengue 2016). Por lo tanto, la búsqueda de un camino de transición hacia modelos y prácticas más sostenibles y socialmente justas se convierte en un tema de importancia primordial (Pengue 2005; Pengue y Altieri 2005). La consideración de la situación de los polinizadores y las amenazas que afectan a la polinización y al sistema de producción de alimentos en AL puede conducir a una mejor conservación de la biodiversidad en los países en desarrollo.

En este trabajo revisamos la evidencia sobre el estado de conservación, las tendencias y las amenazas para los polinizadores y los servicios de polinización en AL, integrando respuestas desde diferentes puntos de vista y valores culturales. Por ello, incluimos algunas perspectivas desarrolladas desde el CTL (conocimiento tradicional y local) de las culturas latinoamericanas con respecto a los polinizadores, la polinización y el manejo de los ecosistemas. Destacamos las particularidades de la conservación de los polinizadores y los servicios de polinización en esta región megadiversa porque está amenazada por diferentes factores; sin embargo, el CTL podría ser parte de la solución, específicamente cuando se consideran diversos contextos bioculturales y socioeconómicos. Resumimos los vacíos de conocimiento y proponemos algunas recomendaciones para mejorar el manejo y conservación de los polinizadores y la polinización. Consideramos que las tendencias encontradas para un adecuado manejo de los polinizadores y la polinización en AL también pueden ser útiles para otros lugares, considerando las implicancias y contrapuntos entre los distintos factores que determinan los riesgos y las oportunidades para su conservación,. Esto es porque muchos de los países que producen materias primas exportables con prácticas vinculadas a la pérdida de biodiversidad se encuentran dentro de las regiones tropicales y subtropicales megadiversas del mundo.

DIVERSIDAD DE POLINIZADORES Y ESTADO DEL CONOCIMIENTO

Los polinizadores silvestres dependen de las plantas nativas y sus flores para su alimentación (Figura 1), y para la nidificación y su reproducción, lo que indica que existen interacciones ecológicas complejas a nivel de paisaje. AL muestra una de las mayores riquezas de especies de plantas, principalmente para biomas de bosques tropicales y subtropicales (Kier et al. 2005). La estimación de la riqueza de especies vegetal es relevante para la estimación de la riqueza de polinizadores en AL porque Ollerton (2017), al analizar datos de 65 sitios de todo el mundo, mostró una fuerte correlación positiva entre el número de especies de plantas en una comunidad determinada y el número de visitantes florales registrados (ver Figura 4 de Ollerton 2017). Aunque se hipotetiza una gran riqueza de polinizadores en base a esta evidencia (Kier et al. 2005; Ollerton 2017), los registros resultan dispersos para diferentes grupos de polinizadores en AL. Por ejemplo, AL alberga la mayor diversidad de abejas en todo el mundo, con el 26% de las >20,000 especies registradas (Orr et al. 2021). América del Sur es también una región con alta diversidad de polinizadores vertebrados, como mamíferos y aves (Jenkins et al. 2013), incluidos colibríes, aves de percha, murciélagos nectarívoros y otros mamíferos polinizadores (Buzato et al. 2012). Los colibríes forman un grupo diverso, con la mayor riqueza en América del Sur (McGuire et al. 2014), y son capaces de buscar alimento entre una variedad de flores (Figura 1 a) y hábitats (Arizmendi et al. 2016). Las polillas son un grupo bien estudiado de polinizadores de la familia Sphingidae con una riqueza global de 1400 especies, con >300 especies registradas en América del Sur (Avila et al. 2012; de Camargo et al. 2018). Una reciente revisión sobre el número de casos de doble mutualismo (polinización y dispersión de semillas) en las diferentes regiones biogeográficas del mundo, mostró que la región Neotropical registró el 44,3% de los casos, lo que impacta positivamente sobre el funcionamiento de los ecosistemas (Fuster et al. 2019).

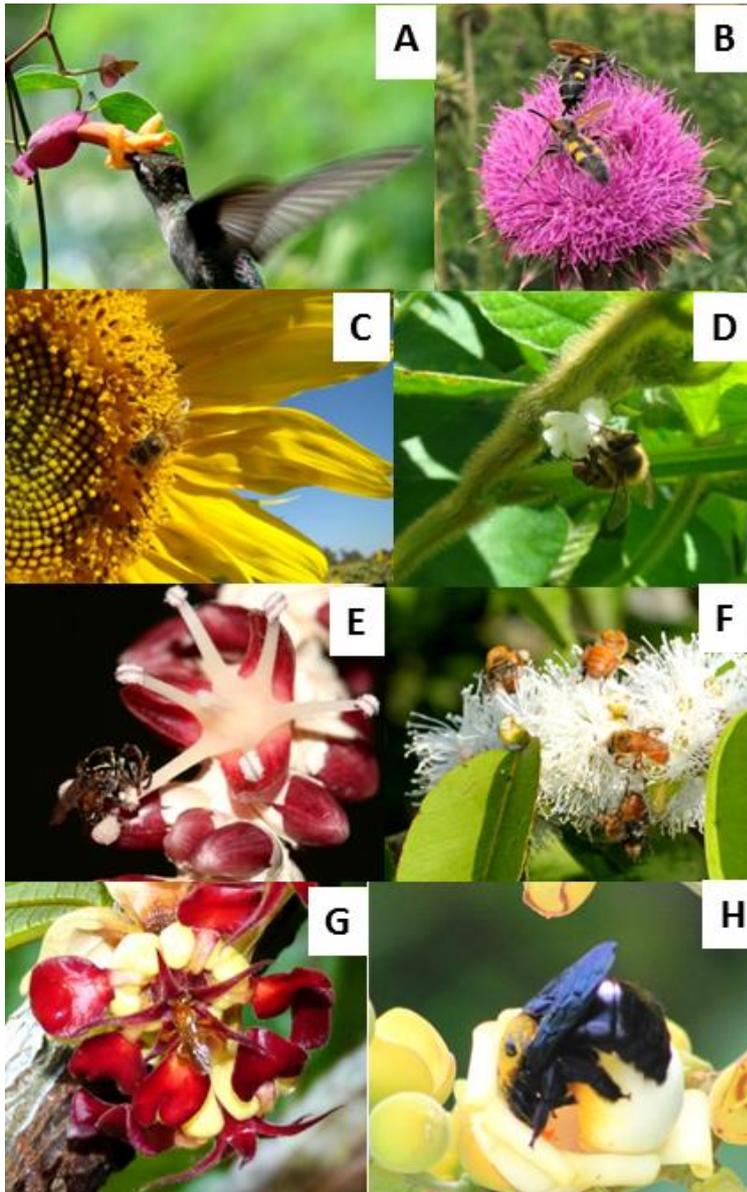


Figura 1. Polinizadores de plantas nativas, exóticas invasoras y algunos cultivos en Latinoamérica. (A) *Heliomaster furcifer* visitando flores de *Dolichandra cyananchooides*. (B) Avispas (Scoliidae) en flores de una especie exótica-invasora de *Carduus* sp. (C) *Apis mellifera* en flores de girasol. (D) *Apis mellifera* en una flor de soja. (E) *Plebeia minima* (abeja mosquito) en una flor masculina de *Euterpe oleracea* (açai or assai) (crédito: Cristiano Menezes). (F) Abeja sin aguijón (Meliponina) en flores de *Myrciaria dubia* (camucamu). (G) *Trigona pallens* (abeja sin aguijón) en flores de *Theobroma grandiflorum* (cupuassu). (H) *Xylocopa frontalis* (abeja carpintera) en flores de *Bertholletia excelsa* (nuez de Pará o nuez de Brasil).

Las abejas están involucradas en la polinización de la mayoría de las especies de plantas nativas y exóticas (Figura 1 b-h), pero también en la de muchos cultivos (Figura 1 c, d, h; Freitas et al. 2009; Giannini et al. 2015; Klein et al. 2020). Las abejas se pueden encontrar en todos los biomas de AL. Un problema importante es la falta de información sobre su riqueza, diversidad, taxonomía, distribución, dinámica poblacional y sobre los impactos que tienen las actividades humanas (Moure et al. 2007; Freitas et al. 2009; Orr et al. 2021). Algunas de las dificultades que impiden determinar las líneas de base para la diversidad de polinizadores y, en consecuencia, para un mejor manejo de conservación, pueden relacionarse con que las comunidades de plantas y polinizadores son muy diversas y también con los escasos recursos económicos disponibles para apoyar el trabajo científico y la

implementación de inventarios taxonómicos (por ejemplo, Yurrita et al. 2017). Además, existe un conocimiento comparativamente escaso sobre las interacciones planta-polinizador o sobre sus amenazas específicas. A la vez, los murciélagos nectarívoros y las polillas involucradas en la polinización se encuentran principalmente en bosques con muy buen estado de conservación (Gonçalves et al. 2017), y la mayoría de las amenazas que enfrentan estos grupos están relacionados con la deforestación. Por ejemplo, el mayor déficit de conocimiento sobre la biología de las especies ocurre en la cuenca del Amazonas (Frick et al. 2019). Los murciélagos proporcionan servicios ecosistémicos de gran importancia socioeconómica, por ejemplo, polinizando cultivos (por ejemplo, *Stenocereus queretaroensis*) en regiones semiáridas como los cactus columnares en el centro de México (Tremlett et al. 2020). El conocimiento sobre la fauna de murciélagos nectarívoros en diferentes regiones de Colombia es solo incipiente, así como sobre sus interacciones con las plantas (Mantilla-Meluk et al. 2014; Mora-Beltrán y López-Arévalo 2018; Echavarría et al. 2018), aunque también ha permitido que mucha gente conozca la importancia de estos organismos como polinizadores y no los siga exterminando.

ESTADO ACTUAL DE LAS ABEJAS MANEJADAS

Actualmente, solo unas pocas especies de abejas nativas se manejan en AL (en su mayoría abejas sin aguijón; ver más abajo). Al igual que en otros lugares, la abeja de la miel (*Apis mellifera*) es la más utilizada, aunque es una especie europea. La apicultura se perfecciona y expande en toda AL, con países (por ejemplo, Argentina, México y Brasil) que se encuentran entre los mayores productores y exportadores de miel del mundo, a pesar de la mala gestión de las colonias (IPBES 2016; Maggi et al. 2016). Una revisión reciente sobre el estado sanitario de las abejas melíferas en cinco países (Argentina, Chile, Uruguay, Brasil y Venezuela) analizó las pérdidas de colonias y las causas de mortalidad. Este estudio mostró que las pérdidas de colonias por año oscilaron entre el 30 y el 35% para los apicultores profesionales (hasta el 50% para los apicultores no profesionales) sin una explicación única, posiblemente porque hay diferentes factores que interactúan sinérgicamente (Maggi et al. 2016). La prevalencia del ácaro (*Varroa destructor*) que parasita la abeja de la miel (estimada para abejas adultas) y las enfermedades virales parecen ser los principales factores negativos que afectan del 20 al 100% de las colonias (Maggi et al. 2016). La polinización por las abejas melíferas incrementa los rendimientos de varios cultivos agrícolas y podría mejorar los ingresos financieros de los apicultores, ya que además de los ingresos por la producción de miel podrían sumar aquellos por el alquiler de las colmenas a productores agrícolas. Sin embargo, con algunas excepciones, estos beneficios para los apicultores por el alquiler de colonias no son frecuentes en AL, principalmente porque los apicultores están más interesados en la producción de miel que en mover sus colmenas para la polinización agrícola (Dos Santos et al. 2018).

Además de la apicultura con *Apis mellifera*, la producción de miel con diferentes especies de abejas nativas sin aguijón se ha practicado desde tiempos precolombinos por civilizaciones como la náhuatl y maya de México (Quezada-Euán et al. 2001). Recientemente, se han desarrollado estudios para la polinización de diferentes cultivos en AL utilizando abejas sin aguijón (e.g., Bomfim et al. 2014; Viana et al. 2014), abejorros (e.g., Torres-Ruiz y Jones 2012) y abejas solitarias (e.g., Magalhães y Freitas 2013). Sin embargo, si la utilización de estas especies para la polinización de cultivos depende de las poblaciones silvestres puede convertirse en una amenaza para su conservación. Se necesita el desarrollo de técnicas para criar, gestionar y promover el rápido crecimiento de las poblaciones de estos polinizadores.

Por ejemplo, la creciente popularidad de las abejas sin aguijón se relaciona con un rápido aumento en la demanda de colonias, aunque esta supera la disponibilidad de las poblaciones manejadas. Por ellos, las prácticas apícolas con abejas sin aguijón aún deben desarrollarse mejor, particularmente en términos de producción de colonias a gran escala (Jaffé et al. 2016).

DEPENDENCIA DE LOS CULTIVOS POR LOS SERVICIOS DE POLINIZACIÓN

Las sociedades humanas dependen del aprovisionamiento por recursos que brindan los cultivos y de los servicios ecosistémicos (SE), por lo cual la polinización y rendimiento de muchos cultivos es una preocupación importante. Los grandes biomas de AL han sufrido cambios dramáticos en el uso de la tierra, principalmente debido a la agricultura a gran escala, la que está respaldada por varias leyes aprobadas por los gobiernos de distintos países de la región (por ejemplo, promoviendo cultivos transgénicos, patentes de semillas y agroquímicos)(Leguizamón 2014; Pengue 2016). La superficie dedicada a la agricultura en AL se ha expandido en aproximadamente un 130% desde 1961 (Figura 2). Aproximadamente el 70% de este crecimiento está relacionado con cultivos dependientes de polinizadores (Figura 2), principalmente la soja (*Glycine max*; Figura 1 d). El cultivo de soja ha aumentado dramáticamente, representando el 65% de la expansión de la frontera agrícola sobre hábitats naturales que se utiliza para la agricultura (Figura 3). Algunas variedades de soja pueden aumentar su rendimiento entre el 18-50% cuando las flores son visitadas por abejas (por ejemplo, Milfont et al. 2013; Huais et al. 2020). En general, la expansión de la agricultura industrial disminuye la biodiversidad, incluyendo la diversidad de polinizadores (IPBES 2016; Dycks et al. 2021).

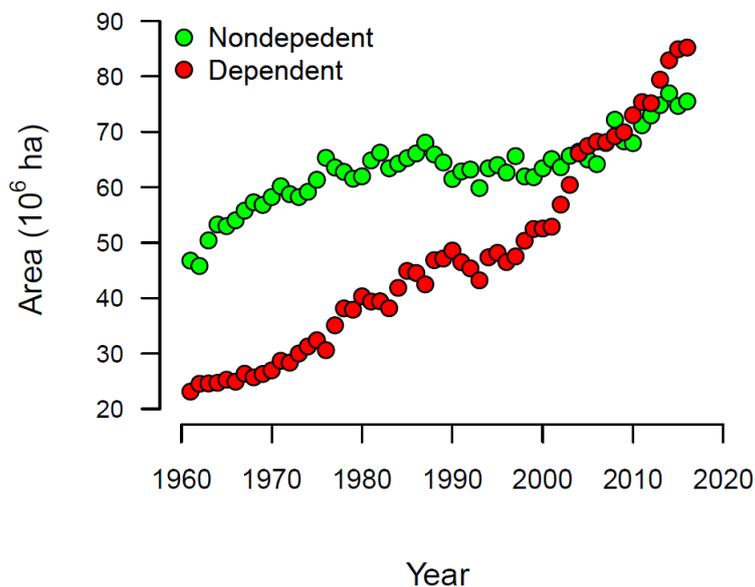


Figura 2. Expansión de tierras agrícolas dedicadas a cultivos dependientes y no dependientes de polinizadores durante las últimas décadas en América Latina. El cultivo dependiente de polinizadores más abundante en 2016 fue la soja, lo que explica el gran aumento en la dependencia de polinizadores de la agricultura latinoamericana. En 1961, este cultivo representaba sólo 0.4% del total de tierras agrícolas, mientras que en 2016, este porcentaje aumentó al 36.7%, principalmente a través de la conversión de hábitats naturales.

El área cultivada de varias especies con alto valor de mercado y gran dependencia de los polinizadores ha aumentado de una a tres veces en AL durante las últimas cinco décadas (FAOSTAT 2017). Por ejemplo, la nuez de Brasil (*Bertholletia excelsa*) y la palma de açaí (*Euterpe oleracea*) se cultivan en la región amazónica, y la producción de estas especies depende de la polinización por abejas nativas (Campbell et al. 2018, Cavalcante et al. 2018; Bezerra et al. 2020; Figura 1 h). Algunas especies de pasionarias, como el maracuyá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*), son claros ejemplos de la dependencia de un cultivo por la presencia de abejas silvestres para aumentar la productividad (Camilo 2003; Calle et al. 2010; Yamamoto et al. 2012). En particular, el maracuyá presenta autoincompatibilidad, por lo que las flores necesitan ser visitadas y polinizadas por abejas grandes para producir frutos, como las abejas carpinteras del género *Xylocopa*. En Colombia, se han realizado investigaciones sobre otras especies de pasionaria que representan fuentes de ingresos para las comunidades locales, como la cholupa (*Passiflora maliformis*), que es la única fruta con denominación de origen que está protegida en el país. Al igual que otras especies de *Passiflora*, sus flores dependen de las abejas para la polinización, siendo *A. mellifera* la más frecuente, pero no la que poliniza de manera más efectiva. En cambio, otras abejas grandes como *Xylocopa*, *Centris* y *Epicharis*, logran hacer contacto con las estructuras reproductivas de las flores, asegurando la polinización con una sola visita (Ospina-Torres et al. 2010).

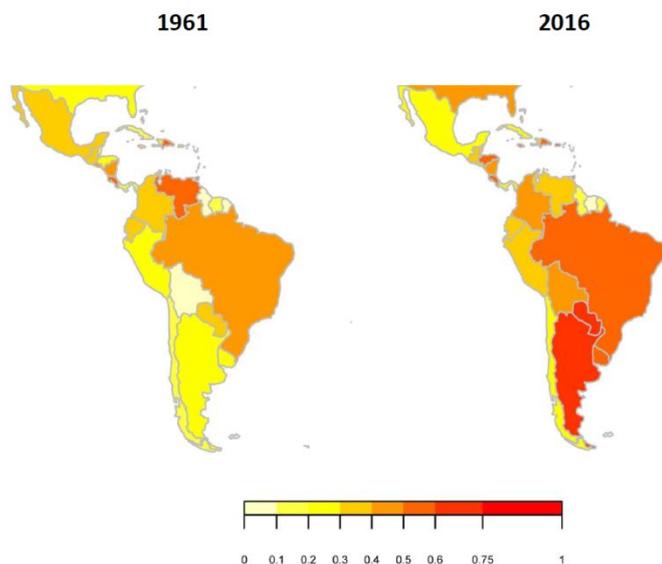


Figura 3. Mapa de América Latina que muestra la dependencia agrícola de los polinizadores (i.e., la proporción de pérdida de producción agrícola esperada en ausencia de polinizadores bióticos; categorías representadas según la barra de color) en 1961 y 2016 según el conjunto de datos de la FAO (FAOSTAT 2017).

Aunque la mayoría de los cultivos pueden beneficiarse por la presencia de conjuntos diversos de polinizadores, aquellos dependientes de polinizadores que se encuentran en paisajes agrícolas convencionales de grandes extensiones, necesitan de la introducción de colmenas de abejas melíferas o de algunas abejas nativas para su polinización (por ejemplo, pomelo [Chacoff y Aizen 2006], girasol [Sáez et al. 2012], manzana [Viana et al. 2014; Geslin et al. 2017], canola [Witter et al. 2015; Mazzei et al. 2021], café [Hipólito et al. 2018, Giannini

et al. 2015], melón [Bomfim et al. 2014], zapallo [Bomfim et al. 2016]), principalmente porque la intensificación de las prácticas agrícolas industriales no incluye la creación de paisajes amigables con los polinizadores.

CONOCIMIENTO TRADICIONAL LOCAL SOBRE POLINIZADORES Y POLINIZACIÓN

En los últimos años se ha considerado la importancia de proteger y valorar las abejas nativas y otros polinizadores, prestando atención al CTL asociado con la biodiversidad y la producción de cultivos (IPBES 2016). La experiencia adquirida durante siglos de interacción con el ambiente, ha dado forma al conocimiento en diferentes grupos y sociedades humanas. Como resultado, el intrincado vínculo entre la gestión de los ecosistemas y los valores culturales ha producido sistemas de CTL ricos y diversos en todo el mundo (por ejemplo, Quezada-Euán et al. 2018; Hill et al. 2019). El CTL está particularmente extendido en AL en donde las comunidades locales han podido identificar desde hace al menos 1400 años diferentes especies de abejas, sus sitios de nidificación y una variedad de tipos de miel con diferentes sabores y propiedades medicinales (Quezada-Euán et al. 2018 y referencias citadas allí).

En particular, la meliponicultura (apicultura con abejas sin aguijón) ha sido realizada durante siglos por comunidades locales en AL (Quezada-Euán et al. 2018). El CTL sobre abejas sin aguijón es importante para el establecimiento de estrategias de conservación para muchas especies, porque las comunidades locales pueden clasificar las abejas de acuerdo con sus características morfológicas, de comportamiento y ecológicas, proporcionando un CTL valioso para la gestión ambiental (Carvalho et al. 2014). Por ejemplo, el CTL reconoce que los ambientes con remanentes de árboles que forman vegetación densa y con abundantes recursos hídricos, son los preferidos por las abejas sin aguijón. En consecuencia, los apicultores mantienen las plantas nativas en sus tierras de cultivo para que las abejas se mantengan en esos ambientes (Carvalho et al. 2014).

Muchas culturas indígenas en AL conocen y utilizan el ambiente sobre la base de diferentes prácticas agrícolas que pueden beneficiar a los polinizadores (Quezada-Euán et al. 2018). Por ejemplo, los agricultores locales utilizan su CTL para manejar recursos vegetales útiles (plantas nativas medicinales o comestibles que generalmente se clasifican como malezas), manteniendo una gran variedad de cultivos dentro de sus campos (frijoles, chiles, cítricos, melón, papaya, calabaza, tomate, sandía, etc., que dependen de los polinizadores para producir frutos), lo que indica que la agricultura a pequeña escala puede ser compatible con la conservación de la diversidad de polinizadores. Esto ocurre aunque los pueblos indígenas y rurales no perciben las interacciones complejas entre las malezas, los polinizadores y la reproducción de los cultivos (por ejemplo, Blanckaert et al. 2007). Las comunidades indígenas en América Central reubican a las abejas en áreas de cultivo en descanso (de barbecho) para acelerar tanto la polinización de la vegetación como la producción de miel. Cuando los rodales forestales han madurado y los árboles han envejecido de 10 a 25 años, las colonias de abejas se ubican en este bosque secundario para mejorar la polinización y aprovechar la diversidad de especies de plantas con flores (Diemont et al. 2011). Este manejo de las colonias de abejas muestra que la agrosilvicultura podría ser un componente de la planificación del paisaje, la producción sostenible y la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, otras comunidades indígenas en AL han percibido la continua disminución de polinizadores que se ha producido durante las últimas décadas, incluidos los riesgos relacionados con la polinización de cultivos y las implicancias para la producción agrícola (Quezada-Euán et al. 2018; Hill et al. 2019). Otro ejemplo de

rescate de CTL sobre abejas sin aguijón se realizó en los llanos orientales de Colombia, promoviendo el reconocimiento, aprendizaje y difusión de conocimientos tradicionales sobre *Melipona favosa* entre los habitantes de la "llanera", una comunidad conformada por 25 familias. La comunidad está liderada por un hombre de más de 70 años, cuyo conocimiento de esta especie de abeja sin aguijón fue heredado de sus padres y abuelos (Nates-Parra y Ramírez 2020).

Estos ejemplos muestran que el CTL sobre los polinizadores y la polinización es complejo e involucra a todos los seres en la naturaleza, incluidos los humanos (Quezada-Euán et al. 2018; Hill et al. 2019). En algunos lugares, las abejas son consideradas seres que hacen posible la continuación de toda la vida en el universo, y la miel se asocia con la fertilidad y la procreación (Falchetti y Nates-Parra 2002). Es importante reconocer que el conocimiento científico y el CTL generalmente se desarrollan bajo diferentes marcos epistemológicos y éticos sobre el entendimiento de las relaciones humano-naturaleza. En general, la naturaleza se percibe en las sociedades occidentales como una entidad separada y se considera que está al servicio de los humanos. Bajo una visión diferente, las sociedades indígenas conceptualizan a los humanos como parte de la naturaleza, lo cual contribuye a la justicia ecosocial a través de la conservación de la diversidad biológica y cultural (Galletto et al. 2019). El CTL y las prácticas asociadas de uso de la tierra complementan la investigación científica, generando nuevas preguntas o perspectivas y proporcionando métodos para el manejo de polinizadores dentro de sistemas agrícolas biodiversos. Las enormes diferencias en las percepciones culturales de la naturaleza y los polinizadores deben integrarse para mejorar la gestión de los hábitats naturales.

AMENAZAS A LA CONSERVACIÓN DE LOS POLINIZADORES Y LA POLINIZACIÓN

Riesgos causados por la deforestación y la fragmentación del hábitat

La deforestación es una amenaza importante que afecta la conservación de la diversidad de polinizadores y los servicios de polinización en AL. Los principales biomas en América Central (por ejemplo, bosques secos y húmedos) y América del Sur (por ejemplo, Amazonia, Bosque Atlántico, Caatinga, Cerrado y Chaco) han sufrido una intensa deforestación en los últimos años, principalmente debido a la agrosilvicultura industrial a gran escala (por ejemplo, Fehlenberg et al. 2017; Molin et al. 2017; Yanai et al. 2017). Por ejemplo, al analizar las tasas de deforestación por país en AL durante el período 1990-2010, Argentina, Chile, Ecuador y Paraguay mostraron las tasas de deforestación más altas (Armenteras et al. 2017). Durante el período 2001-11, AL ha perdido más de 50Mha de bosques, principalmente en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, México, Paraguay y Perú (Pendriill y Persson 2017). Al combinar las tasas de deforestación y la cantidad de pérdida de bosques para los países de AL, se puede evidenciar una tendencia clara y generalizada, con una deforestación moderada a alta en toda la región (Figura 4). Los dos principales impulsores directos que explican la deforestación son la expansión agrícola para los monocultivos y la ganadería (Armenteras et al. 2017; Pendriill y Persson 2017). La mayoría de los países de AL presentan uno de estos dos impulsores, o ambos, relacionados con la pérdida de bosques (Pendriill y Persson 2017; Figura 5). Hay tres regiones principales de deforestación durante los últimos 20 años, la región biogeográfica del Chaco en el norte de Argentina, Bolivia y Paraguay, el Cerrado en Brasil y la Amazonía. Las regiones del Chaco y el Cerrado han perdido cobertura vegetal principalmente por la expansión agrícola, mientras que Amazonía ha sido deforestada para pastizales e introducir ganadería (Pendriill y Persson 2017).



Figura 4. Mapa de América Latina que muestra el impacto de las tasas de deforestación y la pérdida de bosques durante las últimas décadas utilizando datos combinados de Armenteras et al. (2017) y Pendrill y Persson (2017). Los países en rojo exhibieron altas tasas de deforestación y pérdida de bosques; en amarillo, tasas moderadas de deforestación o pérdida de bosques, y en blanco, bajas tasas de deforestación, menores pérdidas de bosques o datos no disponibles.



Figura 5. Mapa de América Latina que muestra los principales impulsores de la deforestación utilizando datos de Pendrill y Persson (2017). Los países en verde exhibieron deforestación principalmente debido a la expansión de la agricultura; en amarillo, principalmente debido a la expansión de tierras para el pastoreo de ganado; en azul, debido a estos dos impulsores principales; para los países en blanco no hay datos disponibles.

La intensificación industrial de la agrosilvicultura está centrada en aumentar el rendimiento de los cultivos a través de insumos externos como pesticidas (ver más abajo),

fertilizantes, combustible y riego, amenazando gravemente la biodiversidad, sin proporcionar necesariamente una mayor calidad de nutrición o soberanía alimentaria a la población (Leguizamón 2014; Cáceres 2015; Pengue 2016). Por ejemplo, se han estimado los efectos de la expansión e intensificación de la agricultura para la diversidad animal en la Pampa argentina, mostrando que las aves y los carnívoros se vieron más fuertemente afectados que los roedores o los insectos (Medan et al. 2011). Además, la agrosilvicultura convencional tiende a degradar las condiciones ambientales para los polinizadores porque generalmente reduce la conectividad del hábitat y disminuye la disponibilidad de los recursos florales y de nidificación (Landaverde-González et al. 2017). Un efecto secundario de la destrucción masiva del hábitat impulsada por la agricultura a gran escala (por ejemplo, el cultivo de soja y caña de azúcar) es la homogeneización del hábitat (Leguizamón 2016), con disminución de los polinizadores (Potts et al. 2016) y el aumento de los déficits de polinización (Cruz-Neto et al. 2018).

Los datos sobre las consecuencias de los cambios en el uso de la tierra para algunas regiones indican que los colibríes han disminuido debido a la pérdida y fragmentación del hábitat (Arizmendi et al. 2016). Por ejemplo, el 40% de las 58 especies de colibríes presentes en México están clasificadas como vulnerables o en peligro de extinción, y algunas de ellas son endémicas (Arizmendi et al. 2016). El mismo escenario se encontró para los murciélagos nectarívoros, cuyas poblaciones también están disminuyendo (Frick et al. 2019). Los murciélagos son funcionalmente importantes ya que desempeñan un papel fundamental en diversos servicios ecosistémicos, como polinizadores y dispersores de semillas (Gonçalves et al. 2017). La diversidad de mariposas nocturnas y de abejas sociales también ha mostrado tendencias negativas a escala local, debido a la disminución de la cubierta forestal a escala regional (Ferreira et al. 2015). La reducción de la calidad del hábitat y la heterogeneidad del paisaje causa pérdida de especies y erosiona la diversidad funcional, afectando así a las redes de plantas y polinizadores (Lopes et al. 2009; Ferreira et al. 2015).

Riesgos causados por el uso de plaguicidas

El uso de plaguicidas es reconocido como una de las principales amenazas para los polinizadores, debido a los efectos letales y subletales (IPBES, 2016). Hay un aumento dramático en la aplicación de pesticidas en América del Sur entre 1990 y 2018 (>475%; FAO 2019), en comparación con Europa o América del Norte (Figura 6). Este fenómeno es particularmente más impactante en aquellos países con enormes áreas de deforestación dedicadas a monocultivos industriales (principalmente soja y maíz) o para el pastoreo de ganado (Figuras 4 y 5), como Brasil y Argentina (Figura 7) que muestran aumentos de 660 y 650% para el período 1990-2018, respectivamente (FAO 2019). Aunque otros países de la región, como Bolivia, Paraguay y Uruguay, no utilizaron anualmente las cantidades de plaguicidas como Brasil y Argentina, también mostraron esa misma tendencia para el mismo período, con aumentos de 490, 480 y 870%, respectivamente (Figura 8; FAO 2019).

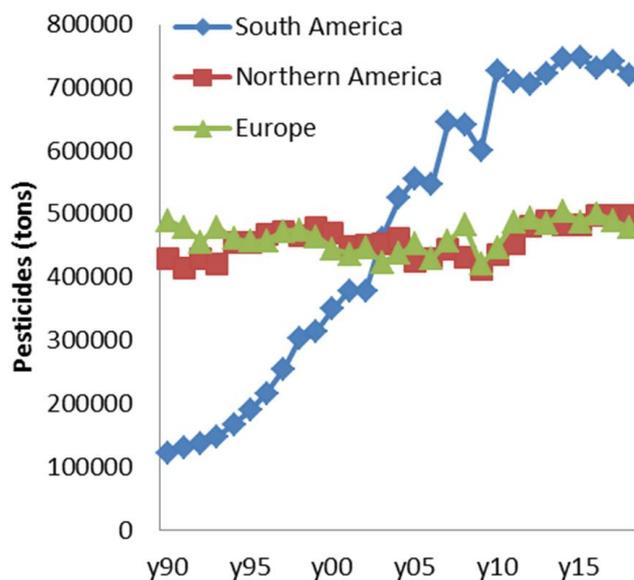


Figura 6. Aplicaciones anuales de plaguicidas (toneladas) durante el período 1990-2018, comparando Europa, Norteamérica y Sudamérica. Fuente: www.fao.org/faostat/en/#data/RP/metadata.

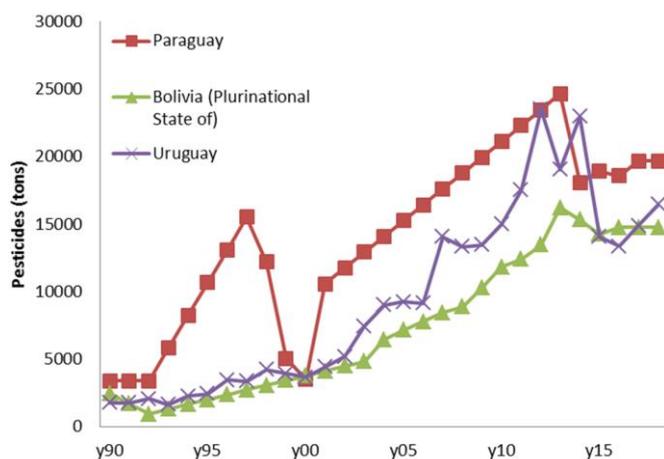


Figura 7. Aplicaciones anuales de plaguicidas (toneladas) durante el período 1990-2018, comparando Paraguay, Bolivia y Uruguay. Fuente: www.fao.org/faostat/en/#data/RP/metadata.

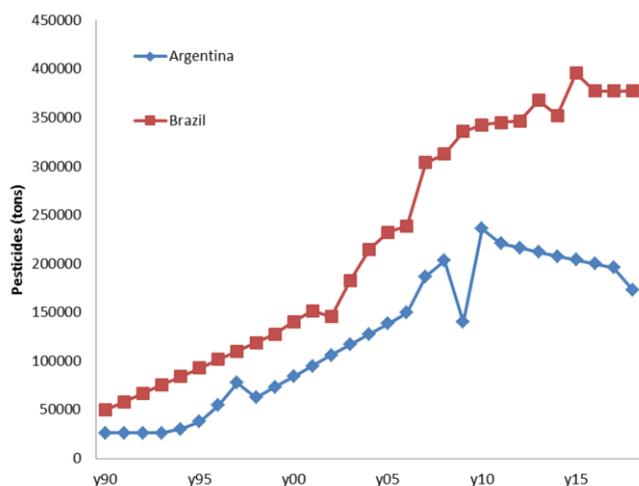


Figura 8. Aplicaciones anuales de plaguicidas (toneladas) durante el período 1990-2018, comparando Brasil y Argentina. Fuente: www.fao.org/faostat/en/#data/RP/metadata.

Los agroquímicos pueden amenazar a los polinizadores, pero el nivel de toxicidad depende de la concentración de los compuestos, la susceptibilidad de las especies y la escala espacio-temporal de exposición (Arena y Sgolastra 2014; Barbosa et al. 2015). Un meta-análisis reciente mostró que las abejas sin aguijón son más sensibles a varios pesticidas que las abejas melíferas (Arenay Sgolastra 2014). Riaño y Cure (2016) determinaron que las formulaciones comerciales de tres insecticidas (el imidacloprid neonicotinoide, spinosinas y oxalato de hidrógeno tiociclam) son altamente tóxicas para las obreras de *Bombus atratus*, una especie neotropical ampliamente distribuida en Colombia y considerada un importante polinizador de los agroecosistemas andinos. Sin embargo, la mayoría de los datos provienen de estudios de laboratorio con *Apis mellifera*, con comparativamente poca información sobre los efectos en especies de *Bombus* y abejas sin aguijón, o sobre los efectos subletales en condiciones de campo y durante largos períodos (Arena y Sgolastra 2014; Barbosa et al. 2015). Recientemente, se ha publicado información sobre los efectos de los pesticidas utilizados en agricultura a concentraciones ambientalmente relevantes para las abejas solitarias (Graffigna et al. 2021; Mokkaapati et al. 2021). Por ejemplo, un estudio de campo en un agroecosistema pampeano (Argentina) mostró que el glifosato influyó en el comportamiento de nidificación de las hembras de abejas solitarias silvestres (*Megachile* spp.), afectando negativamente su reproducción (Graffigna et al. 2021).

Una revisión mostró que el 82% de los 216 estudios que abordan los impactos directos de los insecticidas en las abejas se realizaron en América del Norte y Europa, con solo el 9% realizado en AL (Lundin et al. 2015; pero ver la revisión de Freitas y Pinheiro 2012). Los neonicotinoides son los insecticidas más utilizados en todo el mundo, y sus efectos subletales sobre la supervivencia y reproducción de los polinizadores silvestres en condiciones de campo ya se han demostrado (por ejemplo, Pisa et al. 2017), aunque los efectos sobre las colonias manejadas siguen siendo un tema en discusión. Un estudio pionero en condiciones de campo mostró fuertes efectos subletales sobre abejas, como reducciones en la densidad de abejas silvestres, en la nidificación de abejas solitarias y en el crecimiento y reproducción de las colonias de abejorros (Rundlöf et al. 2015). Además, se encontraron neonicotinoides en el 75% de las muestras de miel analizadas para las regiones de todo el mundo (incluidas muchas muestras de AL), lo que demuestra la exposición de las abejas melíferas a los neonicotinoides en sus fuentes de alimentación (Mitchell et al. 2017). Como consecuencia de la alta mortalidad de colmenas en Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) generó una resolución suspendiendo temporalmente todas las formas de producción, comercialización y uso de cualquier agroquímico que en su composición contenga Fipronil como ingrediente activo, para cultivos de aguacate, café, cítricos y pasionarias (ICA 2021; resolución # 092101 de marzo de 2021).

Los herbicidas son ampliamente utilizados para controlar las malezas, pero también afectan a las poblaciones de plantas nativas presentes en el agroecosistema (Ferreira et al. 2017). Por lo tanto, estos compuestos afectan indirectamente a los polinizadores al reducir el

número de fuentes de alimentación disponibles o al aumentar la abundancia de plantas con flores resistentes o tolerantes a herbicidas, por lo cual estas últimas acumulan sustancias químicas en el néctar y el polen, lo que puede afectar a los polinizadores (Rubio et al. 2014). En resumen, los neonicotinoides, herbicidas y otros pesticidas están causando un daño creciente a los polinizadores.

Riesgos causados por organismos modificados genéticamente (OMG)

Los cultivos modificados genéticamente son tolerantes a herbicidas (TH) o resistentes a insectos (RI), y pueden representar una amenaza para los polinizadores al tener efectos letales o subletales en insectos o larvas adultas (por ejemplo, Nicodemo et al. 2018). Una revisión reciente sobre las abejas melíferas no mostró efectos negativos claros de los OMG sobre el desarrollo de las colonias (Ricroch et al. 2018). Los suplementos que se utilizan en la apicultura para alimentar a las abejas cuando las flores son escasas (es decir, soluciones azucaradas y sustitutos del polen) pueden contener OMG. Estudios experimentales recientes han demostrado efectos negativos en la salud de las abejas después de ofrecer una dieta suplementada (por ejemplo, maíz transgénico procesado; Nicodemo et al. 2018). Además, las abejas visitan las flores de soja transgénicas y este polen se puede encontrar en la miel cosechada por los apicultores (Villanueva-Gutiérrez et al. 2014).

La presencia de transgenes en la naturaleza se confirmó en América del Sur, lo que implica flujo génico mediado por polinizadores e introgresión entre poblaciones de *Brassica napus* modificada genéticamente y *B. rapa* silvestre (Pandolfo et al. 2018). Se necesitan más estudios para aclarar los efectos de los cultivos modificados genéticamente TH y RI en los polinizadores, pero los ejemplos de AL indican que los riesgos pueden depender de cómo se propagan los OMG (plantas enteras, polen o genes) y de su presencia en los recursos a los que acceden los polinizadores.

Riesgos causados por especies invasoras

El cultivo en invernadero ha aumentado notoriamente en toda AL, creando una gran demanda de abejas polinizadoras y la introducción de especies exóticas (Freitas et al. 2009), aunque los abejorros exóticos comercializados (*Bombus ruderatus* y *Bombus terrestris*) han causado serios problemas (Aizen et al. 2019). Chile ha participado en el comercio de abejorros, permitiendo la importación de estas dos especies exóticas de *Bombus* para la polinización de cultivos, pero luego estas abejas invadieron diferentes biomas en Argentina (Schmid-Hempel et al. 2014; Aizen et al. 2019). Está bien documentado en AL que las poblaciones de una especie polinizadora exótica se extendieron rápidamente por todo el paisaje, con impactos negativos sobre la abundancia de polinizadores nativos y en la polinización de especies de plantas nativas, causando además la propagación de especies de plantas exóticas invasoras (por ejemplo, Schmid-Hempel et al. 2014; Morales et al. 2017; Montalva et al. 2017).

Además, las poblaciones de *B. terrestris* están infectadas con los protistas tripanosómicos *Crithidia bombi* (Schmid-Hempel et al. 2014), la neogregarina *Apicystis bombi* y el microsporidio *Nosema bombi* (Plischuk et al. 2017). Los patógenos generalistas deben considerarse como amenazas potenciales para el abejorro nativo de América del Sur *Bombus dahlbomii* (Plischuk et al. 2017). *Bombus terrestris* se ha introducido continuamente en Chile durante los últimos 20 años (> 200.000 colonias y reinas importadas por año), lo que demuestra que las decisiones en un país pueden tener efectos negativos transnacionales sobre la biodiversidad (Aizen et al. 2019). Por ejemplo, una investigación a gran escala en Argentina mostró que solo cinco años después de su llegada, *B. terrestris* había aumentado su tamaño poblacional, con la retracción geográfica concurrente del abejorro nativo *B. dahlbomii* (Morales et al. 2017). Este caso bien documentado sobre la invasión de abejorros en América del Sur debería alertar a los gobiernos sobre las consecuencias no deseadas del comercio de abejas (Aizen et al. 2019). Por ejemplo, la introducción de una especie nativa de AL en otra región no está exenta de riesgos porque la especie puede tener poblaciones que son diferentes genéticamente. Los recientes intentos de introducir el abejorro manejado *Bombus atratus* de Argentina a Colombia han llevado al análisis molecular de las respectivas poblaciones, encontrándose que las poblaciones de *B. atratus* de Argentina y de Colombia son evolutivamente diferentes (Lotta-Arévalo et al. 2021). De igual manera, a partir de estudios sobre la caracterización genética de especies de *Bombus* en Colombia, se determinó una gran diversidad genética intraespecífica en dos de las especies analizadas (*B. funebris*, *B. atratus*), lo que puede indicar la presencia de diferentes unidades evolutivas bajo el nivel taxonómico de especie. Este conocimiento es de vital importancia para formular estrategias de conservación para estas especies de abejorros en Colombia (Lotta-Arévalo et al. 2020).

Riesgos causados por el cambio climático

Existe amplia evidencia de que el cambio climático ha incrementado la variabilidad climática en toda AL, con importantes consecuencias ambientales y socioeconómicas. Estudios recientes en AL han mostrado que el clima influye en los polinizadores (por ejemplo, Giannini et al. 2017; Farias-Silva y Freitas 2021), en la producción de miel (Koffler et al. 2015) y en las interacciones entre polinizadores y especies vegetales (Bezerra et al. 2019; Nemésio et al. 2016; Silva et al. 2019).

Los modelos de cambio climático para AL sugieren una reducción potencial en las abejas polinizadoras de cultivos y en cambios en su distribución geográfica. Proyecciones preliminares muestran pérdidas de áreas adecuadas de hasta el 35% para abejas polinizadoras de siete cultivos brasileños (Giannini et al. 2012). Otro estudio sobre las abejas polinizadoras de 13 cultivos, reveló la pérdida de polinizadores y reducciones del 9 al 100% en la probabilidad de ocurrencia de estas especies (Giannini et al. 2017). Las abejas que se encuentran en el este de la Amazonía brasileña, especialmente los polinizadores de cultivos y las abejas con ocurrencia restringida, enfrentan una amenaza potencial por el cambio climático, ya que los resultados mostraron que el 95% de las especies enfrentarán una

disminución en su área total de ocurrencia (Giannini et al. 2020). Otros estudios también mostraron que el cambio climático puede afectar negativamente la producción de café (polinizado por un conjunto de diferentes especies de abejas; Imbach et al. 2017), tomate (*Bombus morio*; Elias et al. 2017) y maracuyá (*Xylocopa* spp.; Giannini et al. 2013; Bezerra et al. 2019; Farias-Silva y Freitas 2021) debido a la posible pérdida de polinizadores.

Hay varios otros ejemplos: la abundancia de abejas que visitan orquídeas estará potencialmente amenazada en el Bosque Atlántico brasileño por el cambio climático (Faleiro et al. 2018), o las especies de *Bombus* de Mesoamérica que probablemente enfrentarán una pérdida en el área de distribución que oscilará entre el 7% y el 67% para el año 2050 (Martínez-López et al. 2021). El estrés por calor puede también afectar a las colonias de abejas melíferas africanizadas manejadas en los trópicos y subtropicos. De hecho, las olas de calor afectan la capacidad de termorregulación de las colonias (Poot-Baez et al. 2020), disminuyendo la inmunocompetencia en las obreras, reinas y zánganos de abejas melíferas africanizadas (Medina et al. 2020). Las abejas sin aguijón también pueden verse obligadas a buscar alimento solo en las horas más templadas del día o a realizar viajes más cortos en búsqueda de recursos, comprometiendo su capacidad de sobrevivir en ambientes más cálidos (Maia-Silva et al. 2021).

Para las especies de vertebrados, el impacto del cambio climático en los murciélagos nectarívoros del este de la Amazonía brasileña también mostró una reducción potencial promedio del 20 al 30% de las áreas aptas para estas especies (Costa et al. 2018). Otro estudio en la misma región mostró que las aves nectarívoras pueden perder hasta el 60% de su diversidad actual proyectada en escenarios futuros (Miranda et al. 2019). Las especies de murciélagos polinizadores también se analizaron en México, mostrando que el 21% de su hábitat probablemente experimentará pérdidas en la riqueza de especies de murciélagos (Zamora-Gutiérrez et al. 2021).

Nuevas investigaciones sobre el impacto del cambio climático en los polinizadores para las áreas tropicales de AL resultan cada vez más urgentes ya que serán fundamentales para guiar las decisiones políticas en conservación y restauración, con el objetivo de proteger los servicios de polinización.

VACÍOS DE CONOCIMIENTO PARA LA CONSERVACIÓN DE POLINIZADORES

Hemos identificado varios vacíos de conocimiento relacionados al estado, las tendencias y las amenazas que afectan a los polinizadores nativos, la apicultura y los entornos eco-socio-ambientales (resumidos en la Tabla 1). Algunos de estos vacíos están relacionados con la ausencia de información básica sobre los polinizadores y el proceso de polinización en plantas nativas y cultivadas, pero la mayoría de ellos exponen la importancia de realizar investigaciones que aborden las consecuencias de las amenazas antrópicas actuales para la conservación de la biodiversidad, junto con la exploración de alternativas vinculadas a

prácticas basadas en el CTL (Tabla 1). Por ejemplo, se han realizado algunos estudios de análisis de riesgo sobre el impacto del cambio climático en los cultivos polinizados por animales a escala regional (por ejemplo, Imbach et al. 2017), mostrando la importancia de realizar este tipo de estudios para mejorar la toma de decisiones para la conservación de los polinizadores y los servicios de polinización, respetando al mismo tiempo diferentes posicionamientos éticos de las minorías étnicas (Tabla 1).

Tabla 1. Vacíos de conocimiento que disminuyen las oportunidades para una mejor gestión y la conservación de los polinizadores y los servicios de polinización en América Latina.

Situación y tendencias	La mayoría de las colecciones de abejas / insectos que se mantienen en museos e instituciones privadas no están digitalizadas, lo que limita el conocimiento sobre los patrones de distribución y diversidad de especies.
Situación y tendencias	Se dispone de pocos datos empíricos a nivel regional para definir umbrales críticos para los servicios de polinización proporcionados por los polinizadores a muchos cultivos y a la mayoría de las especies de plantas nativas.
Situación y tendencias	Los estudios sobre los conocimientos tradicionales relativos a los polinizadores y la conservación biocultural son escasos para muchas regiones de AL.
Amenazas y oportunidades	La agricultura intensiva convencional amenaza a los polinizadores y la polinización, pero las prácticas agrícolas alternativas deben evaluarse en términos de los vínculos entre los rendimientos de los cultivos, los beneficios para los polinizadores, la sostenibilidad del hábitat y el bienestar humano.
Amenazas y oportunidades	Los pesticidas afectan a los polinizadores, pero no se dispone de conocimiento por estudios de campo sobre muchas especies de polinizadores y los efectos subletales a largo plazo.
Amenazas y oportunidades	Las amenazas antrópicas están actuando simultáneamente y afectan a los polinizadores y los servicios de polinización, pero no hay estudios disponibles para evaluar los riesgos y definir políticas desde esta perspectiva.
Amenazas y oportunidades	Las disminuciones de polinizadores a largo plazo deben modelarse a gran escala teniendo en cuenta las diferentes amenazas y el conocimiento básico para los diferentes grupos de polinizadores.
Tendencias y oportunidades	Se requiere el monitoreo continuo de colmenas exóticas de abejorros y abejas melíferas para evitar su futuro establecimiento y / o la propagación de enfermedades emergentes a los polinizadores nativos, como las especies de abejas sin aguijón.
Tendencias y oportunidades	Los ejemplos regionales de pueblos indígenas y comunidades locales muestran que sus prácticas son amigables con los polinizadores, pero aún faltan ejemplos para diferentes biomas y a gran escala.

Aunque el balance entre la cobertura vegetal para salvaguardar la biodiversidad (incluidos los polinizadores) y la tierra destinada a la agricultura representa un contrapunto, el grado en que la polinización contribuye a los rendimientos sostenibles de los cultivos no se ha considerado al implementar políticas agrícolas (Tabla 1). Sin embargo, existen programas, leyes y regulaciones incipientes para el ordenamiento territorial, la conservación de la diversidad biológica y la reducción del riesgo por plaguicidas, las que pueden beneficiar a

los polinizadores y los servicios de polinización. Por ejemplo, el Plan Nacional de Agroecología y Producción Orgánica (PLANAPO-Brasil, lanzado en 2013) fue desarrollado para coordinar políticas y acciones para la agricultura amigable con el ambiente y la producción de alimentos orgánicos. La ley de Bosques en Argentina (ley 26331; 2007) tiene como objetivo proteger los bosques nativos y su biodiversidad. Esta ley también considera los derechos de los *campesinos* y pueblos indígenas que viven en estos bosques. Al mismo tiempo, se han desarrollado algunas iniciativas de polinizadores para detectar riesgos relacionados con la prestación de servicios de polinización y beneficios relacionados (Brasil, Imperatriz-Fonseca et al. 2007; Colombia, Nates-Parra 2017).

Existen diversos sistemas agrícolas como alternativas a la agricultura a gran escala en AL, con diferencias en términos de desempeño ecológico, social y económico. Sin embargo, el rendimiento socioeconómico de los sistemas agrícolas amigables con los polinizadores es poco conocido (Tabla 1; Garibaldi et al. 2016). Esta brecha de conocimiento obstaculiza los esfuerzos para mejorar el efecto de la agricultura sobre distintas dimensiones de la vida de las personas (Garibaldi et al. 2017), las que se pueden mejorar considerando CTL (Tabla 1; por ejemplo, Quezada-Euán et al. 2018; Hill et al. 2019). Las decisiones sobre el uso de la tierra que están orientadas a mejorar el patrimonio natural, como los sistemas agrícolas amigables con los polinizadores, también pueden proporcionar niveles altos de activos económicos. Por ejemplo, algunas iniciativas pensadas para mejorar sistemas de cultivo amigables con los polinizadores fueron exitosas en AL (por ejemplo, café, Hipólito et al. 2016). Además, los sistemas agrícolas amigables con los polinizadores pueden proporcionar diversos beneficios a la sociedad, incluidos los recreativos, culturales y sobre la salud (Garibaldi et al. 2017; Hill et al. 2019).

Aunque no existen iniciativas coordinadas e integradas para incorporar los servicios de polinización en los sistemas nacionales de producción en AL (Tabla 1), se han realizado algunos esfuerzos como sintetizar la importancia de polinización para la agricultura sostenible en Chile, Paraguay y Perú (FAO 2017). Sin embargo, el diseño y la implementación de protocolos de gestión para AL deben llevarse a cabo teniendo en cuenta no solo la complejidad de muchos de los sistemas ecológicos, sino también las particularidades socioeconómicas de los distintos países, como el alto nivel de pobreza, las crisis económicas recurrentes y la desesperanza política.

Mejorar la educación científica aumenta las oportunidades de conservar la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, principalmente si provoca un cambio en los modelos dominantes de agricultura y en los patrones de consumo de la sociedad. Las metodologías que puedan integrar no solo disciplinas sino también marcos sociales y legales, orientados a promover la conservación y el manejo de los polinizadores a través de una visión agroecológica holística (Tabla 1), producirán resultados sólidos para apoyar el bienestar humano y una mejor toma de decisiones a diferentes escalas espaciales y temporales. Dada la complejidad e incertidumbres de los sistemas socioecológicos de AL, la

efectividad de cualquier programa educativo con respecto a los polinizadores y la conservación de los servicios de polinizadores debe ir más allá de la visión de una sola disciplina, ya que requiere enfoques inter y transdisciplinarios que involucren a los distintos actores sociales. Actualmente, Internet y las redes sociales son las herramientas de comunicación más populares. En AL, existen varios blogs sobre polinizadores y servicios de polinización (por ejemplo, *Comunidad de Polinización*: <http://www.fao.org>; *Associação Brasileira de Estudos das Abelhas*: <https://abelha.org.br/>). Los mecanismos participativos son herramientas valiosas para involucrar a las personas de manera que puedan modificar su comportamiento, proporcionando beneficios ambientales, sociales y económicos a su comunidad. La sociedad civil es quizás el sector que necesita mayor apoyo para entender la importancia de la conservación y manejo de los polinizadores. Por ejemplo, en algunas regiones de AL las iniciativas de ciencia ciudadana involucran con éxito a la sociedad civil para obtener datos nacionales sobre registros de interacciones entre flores y visitantes florales (<https://guardioes.cria.org.br/>), para proteger a los polinizadores nativos y para evaluar los riesgos de invasión biológica (Montalva et al. 2017). Estos ejemplos muestran que es posible integrar el conocimiento científico, el CTL y la sociedad civil en iniciativas de conservación para polinizadores nativos.

RECOMENDACIONES PARA CONSERVAR POLINIZADORES Y SERVICIOS DE POLINIZACIÓN

Presentamos algunas recomendaciones para conservar los polinizadores nativos y mejorar los servicios de polinización, las que pueden ser consideradas por distintos actores sociales y los gobiernos (Tabla 2). Estas recomendaciones están enfocadas en la realidad y complejidad latinoamericana, y son complementarias a las propuestas a nivel global (Dicks et al. 2016,2021; Hill et al. 2019). Sin embargo, creemos que la consideración del estado de conservación de los polinizadores y las amenazas que afectan la polinización y el sistema de producción de alimentos en AL puede también aportar para mejorar la conservación de la biodiversidad en muchos otros países tropicales y subtropicales. Estas sugerencias se generaron teniendo en cuenta su aplicabilidad a diferentes escalas, pero deben estar respaldadas por políticas comunes entre países que comparten biomas megadiversos.

Tabla 2. Recomendaciones para mejorar la conservación de los polinizadores, los servicios de polinización y el buen vivir en América Latina.

Problema	Solución sugerida para las opciones políticas
Muchos polinizadores necesitan ser descritos, o su historia natural es parcial o completamente desconocida.	El apoyo a proyectos científicos de investigación básica es importante para aumentar el conocimiento taxonómico sobre los polinizadores y para su conservación.

No se dispone de estudios de monitoreo a largo plazo y a gran escala de polinizadores y servicios de polinización.	Es importante apoyar y mantener los estudios a largo plazo que utilizan enfoques transdisciplinarios, como la ciencia ciudadana, y consideran diferentes amenazas relacionadas con la disminución de los polinizadores y la polinización. Se deben realizar estudios de referencia a nivel local y regional para evaluar la disminución de las especies de abejas silvestres y otros grupos de polinizadores.
Las amenazas antrópicas, principalmente la deforestación, afectan negativamente la biodiversidad.	Se debe fomentar la conservación de los hábitats naturales y la creación de corredores entre los campos de cultivo e impulsar la diversificación de los sistemas de producción para conservar la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, incluidos los polinizadores y la polinización.
Los polinizadores y los servicios de polinización están disminuyendo en muchas regiones de LA, pero hay pocos datos empíricos disponibles.	Es necesario promover diseños de territorio amigables con el ambiente a escala de paisaje y local para aumentar las poblaciones de polinizadores y la polinización de cultivos, como también la polinización de plantas nativas. Se pueden agregar nidos artificiales en hábitats seminaturales para mejorar la reproducción de las especies silvestres de abejas solitarias y otros polinizadores.
La reducción del rendimiento en cultivos está ocurriendo en aquellos dependientes de polinizadores.	Los sistemas agrícolas tradicionalmente diversificados a pequeña escala, que ya están presentes en la mayoría de las regiones de AL, son beneficiosos para los polinizadores nativos y deben ser apoyados para mantener los rendimientos de muchos cultivos.
La agricultura convencional, con altos insumos de insecticidas y herbicidas, amenaza a los polinizadores.	La exposición de los polinizadores a los plaguicidas debe minimizarse mediante pequeños cambios en las prácticas actuales (por ejemplo, evitar la fumigación temprano en la mañana o reducir las dosis a un nivel mínimo, etc.), pero también mejorar las regulaciones políticas y legales para apoyar las prácticas agroecológicas con sistemas alternativos de control de plagas.
Muchas colonias de abejas melíferas y abejas sin aguijón se pierden cada año.	El conocimiento científico sobre las amenazas para las abejas manejadas debe aumentar y la evaluación continua por parte de los apicultores sobre las densidades adecuadas de las colonias manejadas y sobre la disponibilidad relativa de recursos para los polinizadores (es decir, especies nativas y cultivos en flor) resultan necesarios para mejorar la gestión de los servicios de polinización, aumentar la producción de miel y conservar la biodiversidad.
Los patógenos y parásitos están muy extendidos entre las colonias de abejas manejadas y afectan su estado sanitario.	Se debe mejorar la sanidad de los polinizadores manejados en AL; esto promoverá condiciones más sostenibles (mayor diversidad floral, menos pesticidas, menor deforestación e intensificación agrícola, etc.) para los polinizadores nativos y las abejas manejadas. El movimiento de colonias de abejas melíferas a largas distancias debe minimizarse porque podría provocar el contagio de patógenos a especies nativas, como los abejorros.
Los cultivos transgénicos dominan la mayoría de los paisajes agrícolas de la región, pero se sabe poco sobre las consecuencias para los polinizadores.	Deben realizarse estudios sobre los riesgos de propagación de OMG (plantas enteras o polen) a través del polen o el néctar y sobre las consecuencias para las especies de polinizadores.
Las políticas y regulaciones legales sobre polinizadores manejados deben coordinarse mejor en la región. El público no es consciente de la importancia de los polinizadores y la polinización para el bienestar humano.	Se deben realizar acciones colaborativas y coordinadas para conservar los polinizadores nativos y los servicios de polinización para muchos cultivos importantes y para la mayoría de las especies nativas, como la combinación de políticas y regulaciones legales a nivel regional, la sensibilización pública y la alfabetización ecológica y la mejora de la investigación científica a largo plazo.
Cada país de la región toma decisiones unilaterales sobre el comercio de abejas, favoreciendo las invasiones transnacionales de abejas.	Se necesitan decisiones coordinadas sobre permisos de importación de especies y sistemas regionales de vigilancia para prevenir y detener las invasiones de abejas exóticas.

Diversas amenazas están interrelacionadas con los polinizadores, por lo cual la disminución de la polinización afecta la reproducción de muchas plantas nativas y los rendimientos de varios cultivos. Por ejemplo, la deforestación, la agricultura convencional y el uso excesivo de agroquímicos y la introducción de especies exóticas se están convirtiendo en serias amenazas para los polinizadores nativos y las abejas manejadas en AL. Por lo tanto, desarrollar políticas que promuevan paisajes amigables con los polinizadores resulta necesario para aumentar las poblaciones de polinizadores y la polinización de los cultivos (Tabla 2). Asimismo, se pueden incluir nidos artificiales (llamados "hoteles de abejas") en hábitats seminaturales para mejorar la reproducción de especies silvestres de abejas solitarias, pero también de otros polinizadores (Bortolotti et al. 2016; Rahimi et al. 2021). Además, los estudios que abordan múltiples amenazas son escasos, y se desconocen sus efectos combinados sobre la disminución de la biodiversidad y los déficits de polinización (Tabla 2). Por ejemplo, no se dispone de estudios que aborden la complejidad de los cambios en el uso de la tierra por la agricultura industrial y sus efectos sobre los polinizadores y sobre los déficits de polinización para los cultivos y plantas nativas, porque implica un conocimiento detallado sobre los efectos de la aplicación de grandes cantidades de agroquímicos, sobre los efectos letales y subletales para los polinizadores en el largo plazo, sobre las consecuencias de la reducción de las poblaciones de plantas nativas ya que son utilizadas por los polinizadores para su alimentación y nidificación, sobre las implicancias del aumento de las poblaciones de malezas exóticas resistentes, entre otros procesos ecológicos. Las estrategias de gestión para mejorar los sistemas de producción de alimentos y las prácticas de conservación que abordan la disminución de los polinizadores, deben integrar acciones adecuadas que consideren las escalas locales y regionales y las realidades socioeconómicas. Para los paisajes fragmentados existentes, es importante aumentar los hábitats naturales para los polinizadores a escala regional, manteniendo al mismo tiempo una alta heterogeneidad del hábitat a escala local.

Las políticas y los marcos legales en AL fueron pensados para aumentar la producción agrícola y ganadera a través de la deforestación de tierras dedicadas a la agricultura a gran escala y al pastoreo de ganado, pero estos cambios en el uso de la tierra aumentaron los riesgos para la biodiversidad a través de diferentes amenazas. Un panorama favorable para los polinizadores puede alcanzarse si se promueve la gestión sostenible de la agricultura (Tabla 2). Por ejemplo, se ha propuesto la intensificación ecológica, los sistemas agrícolas diversificados y el aumento de la infraestructura ecológica para mejorar las condiciones de los polinizadores y la polinización de plantas silvestres y algunos cultivos (Dicks et al. 2016; Garibaldi et al. 2017). La agricultura agroecológica también brinda oportunidades a las comunidades locales e indígenas para mantener sus sistemas y prácticas de conocimiento en hábitats naturales, así como para lotes de cultivos pequeños y medianos. Por ejemplo, Hill et al. (2019) sugirieron tres enfoques alternativos para la agricultura que incorporan las dimensiones socioeconómicas de las comunidades locales, los que pueden

mejorar la soberanía alimentaria, incrementar los servicios ecosistémicos (como los servicios de polinización) y alcanzar beneficios para la población local y los polinizadores.

Es necesaria una gran inversión en el largo plazo para apoyar y crear incentivos orientados al desarrollo de sistemas agrícolas favorables a los polinizadores que permitan la conservación de la biodiversidad (Tabla 2). Las políticas relativas a las prácticas de polinización en cultivos deben tener en cuenta los beneficios para la sociedad (Garibaldi et al. 2017) y retribuir a los agricultores por esos beneficios, si se quieren implementar con éxito las prácticas de gestión sostenible. Por ejemplo, la introducción de incentivos para ayudar a los agricultores a mantener los hábitats naturales y los bosques, para reemplazar o reducir los agroquímicos y para mejorar la producción diversificada de cultivos. Otras opciones complementarias incluyen políticas para ajustar las regulaciones sobre uso de agroquímicos para minimizar la exposición de los polinizadores a insecticidas y herbicidas (Tabla 2). Se pueden desarrollar nuevas prácticas a través de la educación pública (por ejemplo, evitar rociar pesticidas temprano en la mañana o reducir las dosis a un nivel mínimo; IPBES 2016; Dicks et al. 2016) o a través de modos alternativos de agrosilvicultura o de control de plagas considerando el CTL (por ejemplo, Hill et al. 2019). Estas políticas también requerirán acuerdos sociales, políticos y legales entre los países para implementar estas recomendaciones específicas y generales a escala continental.

En paralelo, es necesario adoptar políticas públicas que aseguren la regularidad de la investigación científica incorporando múltiples prácticas y reconociendo que el CTL puede mejorar o complementar el conocimiento científico para conservar la biodiversidad (por ejemplo, IPBES 2016; Quezada-Euán et al. 2018). Esta visión más amplia evalúa múltiples dimensiones (sociales, ecológicas, culturales, etc.), integra las especies polinizadoras y los enfoques de gestión del hábitat dentro de los sistemas agrícolas amigables con el ambiente, y evalúa el valor de los polinizadores más allá de la polinización de los cultivos, llenando importantes vacíos de conocimiento. El conocimiento científico juega un papel fundamental en la sociedad contemporánea y ha influido en el desarrollo de políticas en varios ámbitos. Por ejemplo, se podrán obtener líneas de base confiables sobre la diversidad biológica a través de políticas públicas que garanticen la financiación de la investigación científica transdisciplinaria y la educación pública a largo plazo (Tabla 2). Esta base puede permitir una planificación exitosa para la conservación y la evaluación de las respuestas de los polinizadores a múltiples amenazas.

La estrategia general para atenuar la disminución de los polinizadores en AL implica un incremento en las respuestas técnicas que están dispersas de manera desigual en los diferentes países. En general, AL carece de instrumentos jurídicos y económicos eficaces para conservar los polinizadores y los servicios de polinización, lo que indica la necesidad de desarrollar programas integrados a nivel regional que puedan ser ampliamente adoptados por los gobiernos nacionales y los organismos multilaterales (Tabla 2).

CONCLUSIONES

En esta revisión hemos identificado muchas amenazas asociadas con la disminución de los polinizadores y la polinización, y hemos analizado los riesgos para el bienestar humano. Si bien la agrosilvicultura a gran escala es la principal amenaza para la biodiversidad en los países en desarrollo, hemos presentado algunas ideas para aumentar la producción sostenible y conservar la biodiversidad. América Latina posee una amplia riqueza de culturas y muchos millones de personas que viven bajo la línea económica de la pobreza que se ven afectadas por las amenazas discutidas, por lo que es necesario identificar un camino de transición más sostenible y socialmente justo por fuera del modelo de producción actual basado en la exportación de productos primarios. Es necesario reconocer la complejidad socioambiental de los sistemas de producción de alimentos si queremos comprender mejor los impactos de las diferentes amenazas agrícolas sobre los polinizadores y la polinización. Además, es muy importante considerar las formas en que podemos valorar el CTL y sus prácticas para preservar y gestionar la biodiversidad y desarrollar la agrosilvicultura sostenible.

Comprender la relación entre ciencia y política, especialmente en el área ambiental, sigue siendo un desafío a superar, ya que gran parte del conocimiento científico no se ha reflejado en políticas y lineamientos para la conservación de los recursos naturales, particularmente para aquellos que están seriamente amenazados. El desarrollo de marcos legales pueden impulsar cambios en algunos ámbitos, pero en sí mismos no garantizan un cambio para el ambiente natural en el que ocurre la polinización. Necesitamos creatividad y acciones urgentes para conservar los polinizadores y los servicios de polinización en AL.

La consideración de nuestras recomendaciones puede conducir a mejorar la conservación de la biodiversidad en muchos otros países tropicales y subtropicales. Estas sugerencias se generaron teniendo en cuenta su aplicabilidad a diferentes escalas en diferentes países que comparten biomas megadiversos, pero deben estar respaldadas por políticas socioambientales comunes para ser efectivas en el desarrollo sostenible y, en consecuencia, en el uso de los servicios ecosistémicos proporcionados por esta gran diversidad biocultural.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a tres revisores anónimos por sus útiles comentarios y sugerencias. Nos gustaría también agradecer a IPBES por haber dedicado su primer informe de evaluación sobre biodiversidad y servicios ecosistémicos a la importante cuestión de los polinizadores y por haber promovido un nivel de conciencia sin precedentes a nivel global sobre su importancia y los efectos de su pérdida. En consecuencia, agradecemos a los colegas de IPBES por muchas discusiones durante la redacción del informe de IPBES sobre la evaluación de la polinización, aunque aquí nos hemos enfocado en la realidad de América Latina. Las opiniones expresadas aquí representan solo las perspectivas de los autores de este artículo.

REFERENCIAS

- Achard, F., H. D. Eva, H. J. Stibig, P. Mayaux, J. Gallego, T. Richards, and J. P. Malingreau. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science* 80(297):999–1002.
- Aizen, M. A., C. Smith - Ramírez, C. L. Morales, L. Vieli, A. Sáez, R. M. Barahona - Segovia, ...M. P. Arbetman, J. Montalva, L. A. Garibaldi, D. W. Inouye, and L. D. Harder. 2019. Coordinated species importation policies are needed to reduce serious invasions globally: The case of alien bumblebees in South America. *Journal of Applied Ecology* 56(1):100-106. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13121>.
- Arena, M., and F. Sgolastra. 2014. A meta-analysis comparing the sensitivity of bees to pesticides. *Ecotoxicology* 23:324–334.
- Arizmendi, M. D. C., H. Berlanga, C. Rodríguez-Flores, V. Vargas-Canales, L. Montes-Leyva, and R. Lira. 2016. Hummingbird conservation in MexicoMéxico: the natural protected areas system. *Natural Areas Journal* 36(4):366-376.
- Armenteras, D., J. M. Espelta, N. Rodríguez, and J. Retana. 2017. Deforestation dynamics and drivers in different forest types in Latin America: Three decades of studies (1980–2010). *Global Environmental Change* 46:139-147.
- Avila Jr., R. S., R. Oliveira, C. E. Pinto, F. W. Amorin, and C. Schlindwein. 2012. Relações entre esfingídeos (Lepidoptera, Sphingidae) e flores no Brasil: panorama e perspectivas de uso de polinizadores. En V. L. Imperatriz-Fonseca (ed.). *Polinizadores no Brasil*. EdUSP. São Paulo, Brasil.
- Barbosa, W. F., G. Smagghe, and R. N. C. Guedes. 2015. Pesticides and reduced - risk insecticides, native bees and pantropical stingless bees: pitfalls and perspectives. *Pest Management Science* 71:1049-1053.
- Bezerra, A. D. M., A. S. J. Pacheco Filho, I. G. A. Bomfim, G. Smagghe, and B. M. Freitas. 2019. Agricultural area losses and pollinator mismatch due to climate changes endanger passion fruit production in the Neotropics. *Agricultural Systems* 169:49-57.
- Bezerra, L. A., A. J. Campbell, T. F. Brito, C. Menezes, and M. M. Maués. 2020. Pollen loads of flower visitors to Açai Palm (*Euterpe oleracea*) and implications for management of pollination services. *Neotropical Entomology* 1:1-9. <https://doi.org/10.1007/s13744-020-00790-x>.
- Blanckaert, I., K. Vancraeynest, R. L. Swennen, F. J. Espinosa-GarcíaGarcía, D. Pinero, and R. Lira-Saade. 2007. Non-crop resources and the role of indigenous knowledge in semi-arid production of MexicoMéxico. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119:39-48.
- Bomfim, I. G. A., A. D. M. Bezerra, A. C. Nunes, F. A. S. Aragão, and B. M. Freitas. 2014. Adaptive and foraging behavior of two stingless bee species (Apidae: Meliponini) in greenhouse mini watermelon pollination. *Sociobiology* 61:502-509.
- Bomfim, I. G. A., B. M. Freitas, F. A. S. Aragão, and S. A. Walters. 2016. Pollination in cucurbit crops. In M. Pessarakli (Ed.ed.). *Handbook of Cucurbits: Growth, Cultural Practices, and Physiology*. CRC Press, Boca Raton, USA.
- Bortolotti, L., G. Bogo, G., N. de Manincor, N., A. Fisogni, A., and M. Galloni. 2016. Integrated conservation of bee pollinators of a rare plant in a protected area near Bologna, Italy. *Conservation Evidence* 13:51-56.
- Buchmann, S. E., and G. P. Nabhan. 1996. *The Forgotten Pollinators*. Island Press, Washington, DC, USA.

- Buzato, S., T. C. Giannini, I. C. Machado, M. Sazima, and I. Sazima. 2012. Polinizadores vertebrados: uma visão geral para as espécies brasileiras. Pp. 119-141 in V. L. Imperatriz Fonseca, D. A. Lange Canhos, D. de Araujo Alves, and A. M. Saraiva (eds..). Polinizadores no Brasil: contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais. EdUSP, São Paulo, Brasil.
- Cáceres, D. M. 2015. Accumulation by Dispossession and Socio - Environmental Conflicts Caused by the Expansion of Agribusiness in Argentina. *Journal of Agrarian Change* 15(1):116-147.
- Calle, Z., M. Guariguatá, E. Giraldo, and J. Chará. 2010. La producción de maracuyá (*Passiflora edulis*) en Colombia: perspectivas para la conservación de hábitat a través del servicio de polinización. *Interciencia* 35(3):207-212.
- de Camargo, A. J. A., W. R. F. de Camargo, D. Corrêa, M. D. F. Vilela, and F. W. Amorim. 2018. Mariposas polinizadoras do cerrado: identificação, distribuição, importância e conservação. *Embrapa Cerrados-Livro técnico (INFOTECA-E)*, Brasil.
- Camillo, E. 2003. Polinização do maracuja. *Holos Editora, Ribeirao Preto, SP, Brasil.*
- Campbell, A. J., L. G. Carvalheiro, M. M. Maués, R. Jaffé, T. C. Giannini, M. A. B. Freitas, B. W. T. Coelho, and C. Menezes. 2018. Anthropogenic disturbance of tropical forests threatens pollination services to açai palm in the Amazon river delta. *Journal of Applied Ecology* 55:1725-1736.
- Carvalho, R. M. A., C. F. Martins, and J. da Silva Mourão,. 2014. Meliponiculture in Quilombola communities of Ipiranga and Gurugi, Paraíba state, Brazil: an ethnoecological approach. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 10, :3. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-3>.
- Cavalcante, M. C., L. Galetto, M. M. Maués, A. L. S. Pacheco Filho, I. S. A. Bomfim, and B. M. Freitas. 2018. Nectar production dynamics and daily pattern of pollinators visits in Brazil nut (*Bertholletia excelsa* Bonpl.) plantations in Central Amazon: implications for fruit production. *Apidologie* 49:505-516.
- Chacoff, N. P., and M. A. Aizen. 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology* 43: 18-27.
- Costa, W. F., M. Ribeiro, A. M. Saraiva, V. L. Imperatriz-Fonseca, and T. C. Giannini. 2018. Bat diversity in Carajás National Forest (Eastern Amazon) and potential impacts on ecosystem services under climate change. *Biological Conservation* 218:200–210.
- Cruz-Neto, O. C., J. L. S. Silva, M. M. Woolley, M. Tabarelli, and A. V. Lopes. 2018. Pollination partial recovery across monospecific plantations of a native tree (*Inga vera*, Leguminosae) in the Atlantic forest: Lessons for restoration. *Forest Ecology and Management* 427:383-391.
- Dicks, L. V., B. F. Viana, R. Bommarco, B. Brosi, M. C. Arizmendi, S. A. Cunningham, L. Galetto, R. Hill, A. V. Lopes, C. Pires, H. Taki, and S. G. Potts. 2016. Ten policies for pollinators. *Science* 354 (6315):975-976.
- Dicks, L. V., T. D. Breeze, H. T. D., Ngo, H. T.,D. Senapathi, D.,J. An, J.,M. A. Aizen, M. A.,P. Basu, P.,D. Buchori. D.,, L. Galetto, L.,. A. Garibaldi, L. A.,B. Gemmill-Herren, B.,. G. Howlett, B. G.,V. L. Imperatriz-Fonseca, V. L.,S. D. Johnson, S. D.,A. Kovács-Hostyánszki, A.,Y. J. Kwon, Y. J.,H. M. G. Lattorff, H. M. G.,T. Lungharwo, T.,C. L. Seymou, C. L.,A. J. Vanbergen, A. J. and S. G. Potts. 2021. A global-scale expert assessment of drivers and risks associated with pollinator decline. *Nature Ecology and Evolution* (in press).5(10):1453-1461. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01534-9>.

- Diemont, S. A., J. L. Bohn, D. D. Rayome, S. J. Kelsen, and K. Cheng. 2011. Comparisons of Mayan Forest management, restoration, and conservation. *Forest Ecology and Management* 261:1696-1705.
- Dos Santos, C. F., A. Otesbelgue, A., and B. Blochtein. 2018. The dilemma of agricultural pollination in Brazil: Beekeeping growth and insecticide use. *PLoS One* 13(7):e0200286.
- Costa, W. F., M. Ribeiro, A. M. Saraiva, V. L. Imperatriz-Fonseca, and T. C. Giannini. 2018. Bat diversity in Carajás National Forest (Eastern Amazon) and potential impacts on ecosystem services under climate change. *Biological Conservation* 218: 200-210.
- Echavarría, R. J., O. A. Jiménez, M. L. Palacios, and M. J. Rengifo. 2018. Diversidad y composición de murciélagos (Mammalia: Chiroptera) en el municipio de Acandí, Chocó – Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Animales* 10(1):7-14.
- Eilers, E. J., C. Kremen, C., S. Smith Greenleaf, S., A. K. Garber, A.K., and A-M. Klein. 2011. Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. *PLoS ONE* 6(6):e21363. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021363>.
- Elias, M. A. S., F. J. A. Borges, L. L. Bergamini, E. V. Franceschinelli, and E. R. Sujii. 2017. Climate change threatens pollination services in tomato crops in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 239:257-264.
- Falchetti, A. M., and G. Nates Parra. 2002. Las hijas del sol: las abejas sin aguijón en el mundo U'wa, Sierra Nevada del Cocuy. In Ulloa A. Editor. *Rostros culturales de la fauna*. Instituto Colombiano de Antropología e Historia y Fundación Natura:. Pp. 175-214.
- Faleiro, F. V., A. Nemésio, and R. Loyola. 2018. Climate change likely to reduce orchid bee abundance even in climatic suitable sites. *Global Change Biology* 24(6):2272-2283.
- FAO,. 2017. Estado del Arte del Servicio Ecosistémico de la Polinización en Chile, Paraguay y Perú. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. Santiago de Chile, Chile.
- FAOSTAT,. 2017. Data available at (accessed December 2017).URL: fao.org/faostat/en/#data/QC.
- FAO,. 2019. Pesticide use data. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/metadata> (accessed 03 May 2021)..
- Farias-Silva, F. J., and B. M. Freitas. 2021. Thermoregulation in the large carpenter bee *Xylocopa frontalis* in the face of climate change in the Neotropics. *Apidologie* 52(2):341-357.
- Fehlenberg, V., M. Baumann, N. I. Gasparri, M. Piquer-RodríguezRodríguez, G. Gavier-Pizarro, and T. Kuemmerle. 2017. The role of soybean production as an underlying driver of deforestation in the South American Chaco. *Global Environmental Change* 45:24-34.
- Ferreira, F. M., C. Torres, E. Bracamonte, and L. Galetto. 2017. Effects of the herbicide glyphosate on non-target plant native species from Chaco Forest (Argentina). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 144:360-368.
- Ferreira, P. A., D. Boscolo, L. G. Carvalheiro, J. C. Biesmeijer, P. L. Rocha, and B. F. Viana. 2015. Responses of bees to habitat loss in fragmented landscapes of Brazilian Atlantic Rainforest. *Landscape Ecology* 30:2067-2078.
- Freitas, B.M., V. L. Imperatriz-Fonseca, L. M. Medina, A. M. P. Kleinert, L. Galetto, G. Nates-Parra, and J. J. G. Quezada-Euán. 2009. Diversity, threats and conservation of native bees in the Neotropics. *Apidologie* 40:332–346.

- Freitas, B. M., and J. N. Pinheiro. 2012. Polinizadores e pesticidas: principios de manejo para os ecossistemas brasileiros. MMA, Brasília, Brasil.
- Frick, W. F., T. Kingston, and J. Flanders. 2019. A review of the major threats and challenges to global bat conservation. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1469(1):5-25.
- Fuster, F., C. Kaiser - Bunbury, J. M. Olesen, and A. Traveset. 2019. Global patterns of the double mutualism phenomenon. *Ecography* 42(4):826-835.
- Galetto, L., L. A. Garibaldi, and M. A. Aizen. 2018. El valor de los polinizadores. *Investigación y Ciencia (Barcelona, España)* 503:34-40.
- Galetto, L., C. Torres, and G. Martínez Pastur. 2019. Variable retention harvesting: conceptual analysis according to different environmental ethics and forest valuation. *Ecological Processes* 8:40. <https://doi.org/10.1186/s13717-019-0195-3>.
- Garibaldi, L. A., M. B. Dondo, J. Hipólito, N. Azzu, B. F. Viana, and M. Kasina. 2016. A quantitative approach to the socio-economic valuation of pollinator-friendly practices: a protocol for its use. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Garibaldi, L. A., B. Gemmill-Herren, R. D'Annolfo, B. E. Graeub, S. A. Cunningham, and T. D. Breeze. 2017. Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Trends in Ecology and Evolution* 32:68--80.
- Geslin, B., M. A. Aizen, N. GarciaGarcía, A. J. Pereira, V. E. Vaissière, and L. A. Garibaldi. 2017. The impact of honey bee colony quality on crop yield and farmers' profit in apples and pears. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 248:153-161.
- Ghosh, S., and C. Jung. 2018. Contribution of insect pollination to nutritional security of minerals and vitamins in Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 21(2):598-602.
- Giannini, T. C., A. L. Acosta, C. A. Garófalo CA, A. M. Saraiva, I. Alves-dos-Santos, and V. L. Imperatriz-Fonseca. 2012. Pollination services at risk: bee habitats will decrease owing to climate change in Brazil. *Ecological Modelling* 244:127-131.
- Giannini, T. C., A. L. Acosta, C. I. da Silva, P. E. A. M. de Oliveira, V. L. Imperatriz-Fonseca, and A. M. Saraiva. 2013. Identifying the areas to preserve passion fruit pollination service in Brazilian Tropical Savannas under climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 171:39-46.
- Giannini, T. C., G. D. Cordeiro, B. M. Freitas, A. M. Saraiva, and V. L. Imperatriz-Fonseca. 2015. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology* 108:849-857.
- Giannini, T. C., W. F. Costa, G. D. Cordeiro, V. L. Imperatriz-Fonseca, A. M. Saraiva, J. Biesmeijer, L. A. Garibaldi. 2017. Projected climate change threatens pollinators and crop production in Brazil. *PlosOnePlos One* 12:e0182274.
- Giannini, T. C., W. F. Costa, R. C. Borges, L. Miranda, C. P. W. da Costa, A. M. Saraiva, A. M., and V. L. Imperatriz-Fonseca. 2020. Climate change in the Eastern Amazon: crop-pollinator and occurrence-restricted bees are potentially more affected. *Regional Environmental Change* 20(1):1-12.
- Gonçalves, F., E. Fischer, and R. Dirzo. 2017. Forest conversion to cattle ranching differentially affects taxonomic and functional groups of Neotropical bats. *Biological Conservation* 210:343-348.

- Graffigna, S., H. J. Marrero, H. J., and J. P. Torretta. 2021. Glyphosate commercial formulation negatively affects the reproductive success of solitary wild bees in a Pampean agroecosystem. *Apidologie* 52(1):272-281.
- Grez, A., and L. Galetto. 2011. Fragmentación del paisaje en América Latina: ¿en qué estamos? Pp. 63-78 in J.A. Simonetti, and R. Dirzo (eds.). *Conservación biológica: perspectivas desde América Latina*. Editorial Universitaria, Santiago de Chile, Chile.
- Harvey, D. 2003: *The new imperialism*. Oxford University Press, Oxford.
- Hill, R., G. Nates-Parra, J. J. G. Quezada-Euán, D. Buchori, G. LeBuhn, M. M. Maués, P. L. Pert, P. K. Kwapong, S. Saeed, S. J. Breslow, M. Carneiro da Cunha, L. V. Dicks, L. Galetto, M. Gikungu, B. G. Howlett, V. L. Imperatriz-Fonseca, P. O. Lyver, B. Martín-López, E. Oteros-Roza, S. G. Potts, and M. Roué. 2019. Biocultural approaches to pollinator conservation. *Nature Sustainability* 2:214–222.
- Hipólito, J., D. Boscolo, and B. F. Viana. 2018. Landscape and crop management strategies to conserve pollination services and increase yields in tropical coffee farms. *Agriculture Ecosystems and Environment* 256:218-225.
- Hipólito, J., B. F. Viana, and L. A. Garibaldi. 2016. The value of pollinator-friendly practices: Synergies between natural and anthropogenic assets. *Basic and Applied Ecology* 17:659–667.
- Huais, P. Y., G. Grilli, L. D. Amarilla, C. Torres, L. Fernández, and L. Galetto. 2020. Forest fragments influence pollination and yield of soybean crops in Chaco landscapes. *Basic and Applied Ecology* 48:61-72.
- Imbach, P., E. Fung, L. Hannah, C. E. Navarro-Racines, D. W. Roubik, T. H. Ricketts, ... and P.C. A. Harvey, C. I. Donatti, P. Läderach, B. Locatelli, and P. R. Roehrdanz. 2017. Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(39):10438-10442. <https://doi.org/10.1073/pnas.1617940114>.
- Imperatriz-Fonseca, V. L., A. M. Saraiva, and L. S. Gonçalves. 2007. A iniciativa brasileira de polinizadores e os avanços atuais para a compreensão do papel dos polinizadores como produtores de serviços ambientais. *Bioscience Journal* 23:100-106.
- ICA,. 2021. Instituto Colombiano de Agricultura. Resolution #092101 of March 2021. <https://www.ica.gov.co/getattachment/6a3ce116-697d-413b-a07c-b5e478363a84/2021R92101.aspxURL:tinyurl.com/y8h4ckpt>.
- IPBES,. 2016. The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. In S. G. Potts, V. L. Imperatriz-Fonseca, and H. T. Ngo (Edseds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.
- Jaffé, R., N. Pope, A. L. Acosta, D. A. Alves, M. C. Arias, P. De la Rúa, ...F. O. Francisco, T. C. Giannini, A. González-Chaves, V. L. Imperatriz-Fonseca, M. G. Tavares, S. Jha, and L. G. Carvalheiro. 2016. Beekeeping practices and geographic distance, not land use, drive gene flow across tropical bees. *Molecular Ecology* 25(21):5345-5358. <https://doi.org/10.1111/mec.13852>.
- Jenkins, C. N., S. L. Pimm, and L. N. Joppa. 2013. Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(28):E2602-E2610.
- Kier, G., J. Mutke, E. Dinerstein, T. H. Ricketts, W. Küper, H. Kreft, and W. Barthlott. 2005. Global patterns of plant diversity and floristic knowledge. *Journal of Biogeography* 32(7):1107-1116.

- Kevan, P. G. 1999. Pollinators as bioindicators of the state of the environment: species, activity and diversity. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:373–393
- Klein, A. M., B. M. Freitas, I. G. A. Bomfim, V. Boreux, F. Fornoff, and M. O. Oliveira. 2020. Insect pollination of crops in Brazil: a guide for farmers, gardeners, politicians and conservationists. *Nature Conservation and Landscape Ecology*, Albert-Ludwigs University Freiburg, Freiburg, Germany.
- Koffler, S., C. Menezes, P. R. Menezes, A. M. P. Kleinert, V. L. Imperatriz-Fonseca, N. Pope, and R. Jaffé. 2015. Temporal variation in honey production by the stingless bee *Melipona subnitida* (Hymenoptera: Apidae): long-term management reveals its potential as a commercial species in Northeastern Brazil. *Journal of Economic Entomology* 108:858-867
- Landaverde-González, P., J. J. G. Quezada-Euán, P. Theodorou, T. E. Murray, M. Husemann, R. Ayala, H. Moo-Valle, R. Vandame, and R. J. Paxton. 2017. Sweat bees on hot chillies: provision of pollination services by native bees in traditional slash-and-burn agriculture in the Yucatán Peninsula of tropical Mexico. *Journal of Applied Ecology* 54:1814–1824
- Leguizamón, A. 2014. Modifying Argentina: GM soy and socio-environmental change. *Geoforum* 53:149-160.
- Leguizamón, A. 2016. Disappearing nature? Agribusiness, biotechnology and distance in Argentine soybean production. *The Journal of Peasant Studies* 43(2):313-330.
- Le Polain de Waroux, Y., M. Baumann, N. I. Gasparri, G. Gavier-Pizarro, J. Godar, T. Kuemmerle, ...R. Müller, F. Vázquez, J. N. Volante, and P. Meyfroidt. 2018. Rents, actors, and the expansion of commodity frontiers in the Gran Chaco. *Annals of the American Association of Geographers* 108(1):204-225. <https://doi.org/10.1080/24694452.2017.1360761>.
- Lotta-Arévalo, I. A., M. A. Vargas-Ramírez, G. Nates-Parra, N. E. Matta, and R. Ospina Torres. 2020. Accediendo al pasado: uso de especímenes de colección como fuentes de información genética para el género *Bombus* (Hymenoptera: Apidae). *Revista de Biología Tropical* 68(2):394-414.
- Lotta-ArevaloArévalo, I. A., M. A. Vargas-Ramírez, A. Parra-Hinojosa, G. Nates-Parra, N. E. Matta, G. Gennari, V. Stellfeldt, and R. Ospina-Torres. 2021. Genetic differentiation in a Neotropical species of *Bombus* (Hymenoptera: Apidae): Implications of translocations for pollinator conservation (Submitted en prensa).
- Lopes AV,, A. V., L. C. Girão LC,, B. A. Santos BA,, C. A. Peres CA,, and M. Tabarelli M. 2009. Long-term erosion of tree reproductive trait diversity in edge-dominated Atlantic Forest fragments. *Biological Conservation* 142:1154–1165.
- Lundin, O., M. Rundlöf, H. G. Smith, I. Fries, and R. Bommarco. 2015. Neonicotinoid insecticides and their impacts on bees: a systematic review of research approaches and identification of knowledge gaps. *PLoS One* 10:e0136928.
- Magalhães, C. B., and B. M. Freitas. 2013. Introducing nests of the oil-collecting bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini) for pollination of acerola (*Malpighia emarginata*) increases yield. *Apidologie* 44:234–239.
- Maggi, M., K. Antúnez, C. Invernizzi, P. Aldea, M. Vargas, P. Negri, ...C. Brasesco, D. De Jong, D. Messager, E. Weinstein Teixeira, J. Principal, C. Barrios, S. Ruffinengo, R. Rodríguez Da Silva, and M. Eguaras. 2016. Honeybee health in South America. *Apidologie* 47(6):835-854. <https://doi.org/10.1007/s13592-016-0445-7>.

- Maia-Silva, C., J. S. Pereira, B. M. Freitas, and M. Hrncir. 2021. Don't stay out too long! Thermal tolerance of the stingless bees *Melipona subnitida* decreases with increasing exposure time to elevated temperatures. *Apidologie* 52(1):218–229.
- Mantilla-Meluk, H., L. Siles, and L. F. Aguirre. 2014. Geographical and ecological amplitude in the nectarivorous bat *Anoura fistulata* (Phyllostomidae: Glossophaginae). *Caldasia* 36:373-388.
- Martínez - López, O., J. B. Koch, M. A. Martínez - Morales, D. Navarrete - Gutiérrez, E. Enríquez, and R. Vandame. 2021. Reduction in the potential distribution of bumble bees (Apidae: *Bombus*) in Mesoamerica under different climate change scenarios: Conservation implications. *Global Change Biology* 27(9):1772-1787.
- Mazzei, M. P., J. Vesprini, and L. Galetto. 2021. Semi - natural habitats and their proximity to the crop enhances canola (*Brassica napus*) pollination and reproductive parameters in Argentina. *Crop Science* 61(4):2713-2721. <https://doi.org/10.1002/csc2.20450>
- McGuire, J. A., C. C. Witt, J. V. Remsen Jr., A. Corl, D. L. Rabosky, D. L. Altshuler, and R. Dudley. 2014. Molecular phylogenetics and the diversification of hummingbirds. *Current Biology* 24:910-916.
- Medan, D., J. P. Torretta, J. P., K. Hodara, K., E. B. de la Fuente Elba, B., and N. H. Montaldo. 2011. Effects of agriculture expansion and intensification on the vertebrate and invertebrate diversity in the Pampas of Argentina. *Biodiversity and Conservation* 20(13):3077-3100.
- Medina, R. G., R. J. Paxton, S. M. T. Hernández-Sotomayor, C. Pech-Jimenez, L. A. Medina-Medina, and J. J. G. Quezada-Euán. 2020 Heat stress during development affects immunocompetence in workers, queens and drones of Africanized honey bees (*Apis mellifera* L.) (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Thermal Biology* 89:102541.
- Milfont, M. O., E. E. M. Rocha, A. O. N. Lima, and B. M. Freitas. 2013. Higher soybean production using honeybee and wild pollinators, a sustainable alternative to pesticides and autopollination. *Environmental Chemical Letters* 11:335–341.
- Miranda, L. S., V. L. Imperatriz-Fonseca, and T. C. Giannini. 2019. Climate change impact on ecosystem functions provided by birds in southeastern Amazonia. *Plos One* 14(4):e0215229.
- Mitchell, E. A., B. Mulhauser, M. Mulot, A. Mutabazi, G. Glauser, and A. Aebi. 2017. A worldwide survey of neonicotinoids in honey. *Science* 358:109-111.
- Mokkapati, J. S., A. J. Bednarska, A. J., and R. Laskowski. 2021. The development of the solitary bee *Osmia bicornis* is affected by some insecticide agrochemicals at environmentally relevant concentrations. *Science of the Total Environment* 775:145588.
- Molin, P. G., S. E. Gergel, B. S. Soares-Filho, and S. F. Ferraz. 2017. Spatial determinants of Atlantic Forest loss and recovery in Brazil. *Landscape Ecology* 32:857-870.
- Montalva, J., V. Sepulveda, F. Vivallo, and S. D. Paiva. 2017. New records of an invasive bumble bee in northern Chile: expansion of its range or new introduction events? *Journal of Insect Conservation* 21:657–666.
- Mora-Beltrán, C., and H. F. López-Arévalo. 2018. Interactions between bats and floral resources in a premontane forest, Valle del Cauca, Colombia. *Therya* 9(2):129-136.
- Morales, C. L., A. Sáez, L. A. Garibaldi, and M. A. Aizen. 2017. Disruption of pollination services by invasive pollinator species. Pp. 203-220 In M. Vilà, and P. E. Hulme (Eds.). *Impact of biological invasions on ecosystem services*. Springer International Publishing. Cham, Switzerland.

- Moure, J. M., D. Urban, and G. A. R Melo. 2007. Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region. Sociedade Brasileira de Entomologia, Curitiba, Brasil.
- Nates-Parra, G. (ed.). 2017. Iniciativa Colombiana de Polinizadores-Abejas-ICPA. Bogotá, D.C. Departamento de biología, Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Nates, G., and B. Ramirez. 2020. Guía para la conservación y manejo de abejas sin aguijón *Melipona favosa*. Convenio La Miel de la Biodiversidad. Yopal, Casanare, Colombia.
- Nemésio, A., D. P. Silva, J. C. Nabout, and S. Varela. 2016. Effects of climate change and habitat loss on a forest-dependent bee species in a tropical fragmented landscape. *Insect Conservation and Diversity* 9:149-160.
- Nicodemo, D., D. De Jong, L. G. Reis, J. M. V. D. Almeida, A. A. D. Santos, and L. A. M. Lisboa. 2018. Transgenic corn decreased total and key storage and lipid transport protein levels in honey bee hemolymph while seed treatment with imidacloprid reduced lipophorin levels. *Journal of Apicultural Research* 57:321-328.
- Ollerton, J. 2017. Pollinator diversity: distribution, ecological function, and conservation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 48:353-376.
- Orr, M. C., A. C. Hughes, D. Chesters, J. Pickering, C. D. Zhu, and J. S. Ascher. 2021. Global patterns and drivers of bee distribution. *Current Biology* 31(3):451-458.
- Ospina-Torres, R., J. Medina, R. Ramírez, G. Nates-Parra, M. Amaya, D. Melo, and C. Angel. 2010. Eficiencia de las abejas polinizadoras de los cultivos de gulupa (*Passiflora edulis* Sims) y granadilla (*Passiflora ligularis* Juss) en Buenavista, Boyacá, Colombia. *Memorias I Congreso Latinoamericano de Passiflora*, Neiva, Huila, Colombia.
- Pandolfo, C. E., A. Presotto, F. T. Carbonell, S. Ureta, M. Poverene, and M. Cantamutto. 2018. Transgene escape and persistence in an agroecosystem: the case of glyphosate-resistant *Brassica rapa* L. in central Argentina. *Environmental Science and Pollution Research* 25:6251-6264.
- Pendrill, F., and U. M. Persson. 2017. Combining global land cover datasets to quantify agricultural expansion into forests in Latin America: Limitations and challenges. *Plos One* 12(7):e0181202.
- Pengue, W. A. 2005. Transgenic crops in Argentina: the ecological and social debt. *Bulletin of Science, Technology and Society* 25:314-322.
- Pengue, W. A., and M. A. Altieri. 2005. La soja transgénica en América Latina. Una maquinaria de hambre, deforestación y devastación socioecológica. *Ecología Política* 30:87-94.
- Pengue, W. A. 2016. Recursos, transición socioecológica y política ambiental. *Fronteras* 14: 17-37.
- Pisa, L., D. Goulson, E. C. Yang, D. Gibbons, F. Sánchez-Bayo, E. Mitchell, ... and J. M.A. Aebi, J. van der Sluijs, C. J. K. MacQuarrie, C. Giorio, E. Yim Long, M. McField, M. Bijleveld van Lexmond, and J.-M. Bonmatin. 2017. An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 2: impacts on organisms and ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research* 1-49. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0341-3>.
- Plischuk, S., K. Antúnez, M. Haramboure, G. M. Minardi, and C. E. Lange. 2017. Long - term prevalence of the protists *Crithidia bombi* and *Apicystis bombi* and detection of the microsporidium *Nosema bombi* in invasive bumble bees. *Environmental Microbiology Reports* 9(2):169-173.

- Poot-Baez, V., R. Medina-Hernández, S. Medina-Peralta, and J. J. G. Quezada-Euán. 2020. Intranidal temperature and body size of Africanized honey bees under heatwaves (Hymenoptera: Apidae). *Apidologie* 51:382–390
- Potts, S. G., V. Imperatriz-Fonseca, H. T. Ngo, M. A. Aizen, J. C. Biesmeijer, T. D. Breeze, ...L. V. Dicks, L. A. Garibaldi, R. Hill, J. Settele, and A. J. Vanbergen. 2016. Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature* 540(7632):220-229. <https://doi.org/10.1038/nature20588>.
- Quezada-Euán, J. J. G., W. de Jesús May-Itzá, and J. A. González-Acereto. 2001. Meliponiculture in Mexico: problems and perspective for development. *Bee World* 82(4):160-167.
- Quezada-Euán, J. J. G., G. Nates-Parra, M. M. Maués, D. W. Roubik, and V. L. Imperatriz-Fonseca. 2018. The economic and cultural values of stingless bees (Hymenoptera: Meliponini) among ethnic groups of tropical America. *Sociobiology* 65(4):534-557.
- Rahimi, E., S. Barghjelveh, S., and P. Dong. 2021. How effective are artificial nests in attracting bees? A review. *Journal of Ecology and Environment* 45(1):1-11.
- Riaño, D., and J. R. Cure. 2016. Efecto letal agudo de los insecticidas en formulación comercial Imidacloprid, Spinosad y Thiocyclam hidrogenoxalato en obreras de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae). *Revista de Biología Tropical* 64(4):1737-1745.
- Ricroch, A., S. Akkoyunlu, J. Martin-Laffon, and M. Kuntz. 2018. Assessing the environmental safety of transgenic plants: honey bees as a case study. *Advances in Botanical Research* 86:111-167.
- Rozzi, R. 2013. Biocultural ethics: from biocultural homogenization toward biocultural conservation. Pp. 9-32 In R. Rozzi, S. T. Pickett, C. Palmer, J. J. Armesto, and J. B. Callicott (Eds.). *Linking ecology and ethics for a changing World*. Springer, Dordrecht, Germany.
- Rubio, F., E. Guo, and L. Kamp. 2014. Survey of glyphosate residues in honey, corn and soy products. *Journal of Environmental Analytical Toxicology* 5:1.
- Rundlöf, M., G. K. Andersson, R. Bommarco, I. Fries, V. Hederström, L. Herbertsson, ...O. Jonsson, B. K. Klatt, T. R. Pedersen, J. Yourstone, and H. G. Smith. 2015. Seed coating with a neonicotinoid insecticide negatively affects wild bees. *Nature* 521(7550):77-80. <https://doi.org/10.1038/nature14420>.
- Sáez, A., M. Sabatino, and M. A. Aizen. 2012. Interactive effects of large- and small-scale sources of feral honey-bees for sunflower in the Argentine Pampas. *Plos One* 7:e30968.
- Schmid - Hempel, R., M. Eckhardt, D. Goulson, D. Heinzmann, C. Lange, S. Plischuk, L. R. Escudero, R. Salathé, J. J. Scriven, and P. Schmid - Hempel. 2014. The invasion of southern South America by imported bumblebees and associated parasites. *Journal of Animal Ecology* 83:823-837.
- Silva, J. L. S. E., O. Cruz-Neto, C. A. Peres, M. Tabarelli, and A. V. Lopes. 2019. Climate change will reduce suitable Caatinga dry forest habitat for endemic plants with disproportionate impacts on specialized reproductive strategies. *Plos One* 14(5):e0217028.
- Smith, M. R., G. M. Singh, G. M., D. Mozaffarian, D., and S. S. Myers. 2015. Effects of decreases of animal pollinators on human nutrition and global health: a modelling analysis. *The Lancet* 386(10007):1964-1972.
- Torres-Ruiz, A., and R. W. Jones. 2012. Comparison of the efficiency of the bumble bees *Bombus impatiens* and *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae) as pollinators of tomato in greenhouses. *Journal of Economic Entomology* 105:1871-1877.

- Tremlett, C. J., M. Moore, M. A. Chapman, V. Zamora - GutiérrezGutiérrez, and K. S. H. Peh. 2020. Pollination by bats enhances both quality and yield of a major cash crop in MexicoMéxico. *Journal of Applied Ecology* 57(3):450-459.
- Vandame, R., and M. A. Palacio. 2010. Preserved honey bee health in Latin America: a fragile equilibrium due to low-intensity agriculture and beekeeping? *Apidologie* 41:243-255.
- Viana, B. F., F. O. Silva, G. Castagnino, J. G. Coutinho, K. P. Gramacho, and L. A. Garibaldi. 2014. Stingless bees further improve apple pollination and production. *Journal of Pollination Ecology* 14:261- 269.
- Villanueva-Gutiérrez, R., C. Echazarreta-González, D. W. Roubik, and Y. B. Moguel-Ordóñez. 2014. Transgenic soybean pollen (*Glycine max* L.) in honey from the Yucatan península, MexicoMéxico. *Scientific Reports* 4:4022.
- Vryzas, Z., C. Ramwell, and C. Sans. 2020. Pesticide prioritization approaches and limitations in environmental monitoring studies: From Europe to Latin America and the Caribbean. *Environment International* 143:105917.
- Witter, S., P. Nunes-Silva, B. B. Lisboa, F. P. Tirelli, A. Sattler, S. Both Hilgert-Moreira, and B. Blochtein. 2015. Stingless bees as alternative pollinators of canola. *Journal of Economic Entomology* 108(3):880-886.
- Wolowski, M., K. Agostini, A. R. Rech, I. G. Varassin, M. Maués, L. Freitas, L. T. Carneiro, R. O. Bueno, H. Consolaro, L. Carvalheiro, A. M. Saraiva, C. I. Silva, and M. C. G. Padgurschi (Orgorg.). 2019. 1a edição. BPBES/ REBIPP. Relatório temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil. Editora Cubo, São Carlos, SP, Brasil. <https://doi.org/10.4322/978-85-60064-83-0>.
- Yamamoto, M., C. I. da Silva, S. C. Augusto, A. A. A. Barbosa, and P. E. Oliveira. 2012. The role of bee diversity in pollination and fruit set of yellow passion fruit (*Passiflora edulis* forma *flavicarpa*, Passifloraceae) crop in Central Brazil. *Apidologie* 43(5):515-526.
- Yanai, A. M., E. M. Nogueira, P. M. L. de Alencastro, and P. M. Fearnside. 2017. Deforestation and carbon stock loss in Brazil's Amazonian settlements. *Environmental Management* 59:393-409.
- Yurrita, C. L., M. A. Ortega-Huerta, and R. Ayala. 2017. Distributional analysis of *Melipona* stingless bees (Apidae: Meliponini) in Central America and MexicoMéxico: setting baseline information for their conservation. *Apidologie* 48:247-258.
- Zamora - Gutiérrez, V., A. N. Rivera - Villanueva, S. Martínez Balvanera, A. Castro - Castro, and J. Aguirre - Gutiérrez. 2021. Vulnerability of bat--plant pollination interactions due to environmental change. *Global Change Biology* 27(14):3367-3382. <https://doi.org/10.1111/gcb.15611>