

Colección biológica de insectos: de la recolección a la conservación¹

Roberto Daniel García², Matías Villagrán³, Daniel Nicolás Wittner Fernández⁴, Marcelo Eduardo Kun⁵

Resumen

Las colecciones biológicas son bibliotecas de especímenes que representan la principal fuente de información sobre la biodiversidad de una región. Estos archivos históricos permiten realizar estudios de taxonomía, fisiología y ecología, entre otros, que son fundamentales para impulsar medidas de conservación medioambiental. En este artículo hacemos énfasis en las colecciones entomológicas,

que pueden ser generadas sin afectar sus poblaciones. Asimismo, las colecciones sin fines científicos son una problemática que amenaza a vistosos y escasos insectos. Concluimos que la divulgación y exhibición de las colecciones biológicas es uno de los puntos de partida para la conservación de la biodiversidad del planeta.

Palabras clave: colección biológica, entomología, conservación, mariposas, tráfico de animales.

¹ Artículo de Revisión derivado de las pasantías de investigación tituladas “Colecciones entomológicas del Centro Regional Universitario Bariloche”, ejecutadas entre septiembre y diciembre de 2019. Financiado por la Universidad Nacional del Comahue, a través de los proyectos UNCo B215 “Diversidad de Artrópodos y su relación con las plantas, los animales y el hombre” y UNCo 04/B237 “Evaluación de los impactos del cambio global sobre los ecosistemas acuáticos y sus organismos en los gradientes ambientales de Patagonia Norte”.

² Doctor en Biología. Posdoctorado en Ciencias de la Tierra. Investigador asistente del INIBIOMA, Universidad Nacional del Comahue, CONICET. Quintral 1250, 8400 Bariloche, Argentina.
Correo electrónico: garciarobertodaniel@gmail.com / ORCID: 0000-0001-7216-4723.

³ Estudiante de la Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Comahue. Pasante del Laboratorio de Zoología, Universidad Nacional del Comahue, Quintral 1250, 8400 Bariloche, Argentina.
Correo electrónico: matias887@yahoo.com / ORCID: 0000-0003-2375-8407.

⁴ Estudiante de la Licenciatura en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional del Comahue. Pasante del Laboratorio de Zoología, Universidad Nacional del Comahue, Quintral 1250, 8400 Bariloche, Argentina.
Correo electrónico: daniel.uni.wittner@gmail.com / ORCID: 0000-0002-4377-2436.

⁵ Doctor en Biología. Profesor Adjunto de la Universidad Nacional del Comahue. Laboratorio de Zoología, Universidad Nacional del Comahue, Quintral 1250, 8400 Bariloche, Argentina.
Correo electrónico: kunmarcelo@hotmail.com / ORCID: 0000-0002-7299-2796.

Autor para Correspondencia: Roberto Daniel García, correo: garciarobertodaniel@gmail.com.ar.

Recibido: 16/08/2021 Aceptado: 30/05/2022

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

Biological collection of insects: from collection to conservation

Abstract

Biological collections are libraries of specimens that represent the main source of information about the biodiversity of a region. These historical archives allow us to carry out studies of taxonomy, physiology and ecology, among others, which are fundamental when promoting measures for environmental conservation. In this article

we emphasize the entomological collections that can be generated without affecting their populations. Likewise, collections with no scientific purpose are a problem that threatens the attractive and scarce insects. We conclude that the divulgation and exhibition of biological collections is one of the starting points for the conservation of the planet's biodiversity.

Keywords: Biological collection, entomology, conservation, butterflies, animal trafficking.

Coleção biológica de insectos: da recolha à conservação

Resumo

As coleções biológicas são bibliotecas de espécimes que representam a principal fonte de informação sobre a biodiversidade de uma região. Estes arquivos históricos permitem estudos de taxonomia, fisiologia e ecologia, entre outros, que são fundamentais para promover medidas de conservação ambiental. Neste artigo destacamos as

coleções entomológicas, que podem ser geradas sem afetar as suas populações. Do mesmo modo, as coleções sem fins científicos são um problema que ameaça os insectos escassos e vistosos. Concluimos que a divulgação e exposição de coleções biológicas é um dos pontos de partida para a conservação da biodiversidade do planeta.

Palavras-chave: coleção biológica, entomologia, conservação, borboletas, tráfico de animais.

Introducción

Las colecciones biológicas son bibliotecas de especímenes que se encuentran almacenados en condiciones especiales a fin de garantizar su integridad para la posteridad. Estos ejemplares, en conjunto con su información asociada, representan la principal fuente de información acerca de la biodiversidad en el mundo, tanto la pasada como la actual (Segovia-Salcedo, Carrasco & Acosta Buenaño, 2015; Trujillo-Trujillo, Vargas-Triviño & Salazar-Fajardo, 2014).

El inicio de las colecciones se encuentra asociado con la práctica de magia y alquimia, donde se recolectaban organismos considerados raros o mágicos. Durante los siglos XVI y XVII, estas colecciones particulares evolucionaron para convertirse en objetos de estudio para la comunidad científica, fundamentalmente con fines comestibles y medicinales (Simmons & Muñoz-Saba, 2005). Hacia el siglo XIX, se modificó la filosofía de las colecciones, dejando de recolectar organismos de forma indiscriminada para pasar a recolectarlos en formas sistemática con un propósito de investigación (Rey Fraile, 2013; Trujillo Trujillo et al., 2014).

En la actualidad, las colecciones biológicas incluyen tejidos orgánicos, huevos, muestras de genes, parásitos asociados a un espécimen, grabaciones de audio y vídeo, anotaciones de campo y datos ambientales, entre otros (Castillo-Figueroa, 2018; Gropp, 2018). Se estima que hay al menos 3.000 millones de especímenes preservados en más 6500 colecciones de museos e instituciones académicas alrededor del mundo (Ariño,

2010; Rey Fraile, 2013). Estas colecciones representan mucho más que un depósito de ejemplares y muestras, constituyen el patrimonio natural de un país o región, siendo un archivo histórico de múltiple utilidad (Kress, 2014; Montaña, Meza & Dias, 2012; Simmons & Muñoz-Saba, 2005).

¿Para qué sirven las colecciones biológicas?

Las colecciones biológicas son fundamentales para aumentar el conocimiento de los procesos biológicos y documentar la biodiversidad existente en la Tierra (Crisci y Katinas, 2017; Rocha et al., 2014). En el último tiempo, han cobrado gran importancia debido a que el avance antrópico (urbanización, explotación de recursos, modificación del hábitat, etc.) amenaza a la biodiversidad del planeta (Kowarik, 2011; Martínez-Meyer, Sosa-Escalante & Álvarez, 2014; Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019; Shochat et al., 2010). En este sentido, los especímenes preservados ofrecen una gran cantidad de información que permiten registrar los cambios producidos por las actividades humanas, como la fragmentación y degradación del hábitat (Crisci y Katinas, 2017). En muchos casos, los datos generados provienen de décadas, siglos o incluso millones de años hacia atrás (Castillo-Figueroa, 2018; Suarez & Tsutsui, 2004). Mediante las colecciones podemos conocer especies que ya no se encuentran en los sitios donde antes habitaban. Estos registros permiten realizar predicciones a futuro e impulsar medidas de conservación en los ambientes afectados, delimitando las zonas susceptibles y, por lo tanto, prioritarias

para la conservación (Davy, 2005; Delgadillo & Góngora, 2009; Springer, 2019).

Además de su valor como testigos de la biodiversidad, las colecciones biológicas representan la materia prima para la generación de conocimiento en diferentes áreas (Márquez Luna, 2005) (Fig. 1). En efecto, los especímenes guardados pueden ser el objeto de estudio en investigaciones de taxonomía, sistemática (Kemp, 2015; Rocha et al., 2014; Wen, Ickert-Bond, Appelhans, Dorr & Funk, 2015), cladística, fisiología, morfología (Castillo-Figueroa & Pérez-Torres, 2018), ecología y biogeografía (Davy, 2005; Rocha et al., 2014), evolución, medicina (Suarez & Tsutsui, 2004), bioquímica (Pyke & Ehrlich, 2010) y estudios moleculares, entre otros (Springer, 2019; Swing et al., 2014). Su re-análisis en el tiempo, utilizando nuevos instrumentos y técnicas, a menudo suele proporcionar nuevos datos y conocimientos a partir de ejemplares ya estudiados (Darrigran, 2012; Swing et al., 2014).

Un paso fundamental para cualquier investigación es que los organismos de estudio se encuentren correctamente

identificados, de lo contrario, el conocimiento generado a partir de ellos podría ser ambiguo. La identificación taxonómica siempre se encuentra basada en información previa obtenida de un organismo depositado en una o varias colecciones (Márquez Luna, 2005; Swing et al., 2014). De esta forma, algunos especímenes se convierten en ejemplares de referencia para las comparaciones a futuro. Estos estándares, conocidos como ejemplares tipo, son almacenados en instituciones oficiales designadas para su conservación permanente (Darrigran, 2012; Interagency Working Group on Scientific Collections, 2009).

Por último, las colecciones biológicas también comprenden bancos de semillas, material genético y centros de cría de especies amenazadas o de importancia alimentaria. En este sentido, algunas colecciones biológicas pueden actuar como fuente de valiosos recursos biológicos para la reintroducción de especies (Castillo-Figueroa, 2018; Trujillo Trujillo et al., 2014).

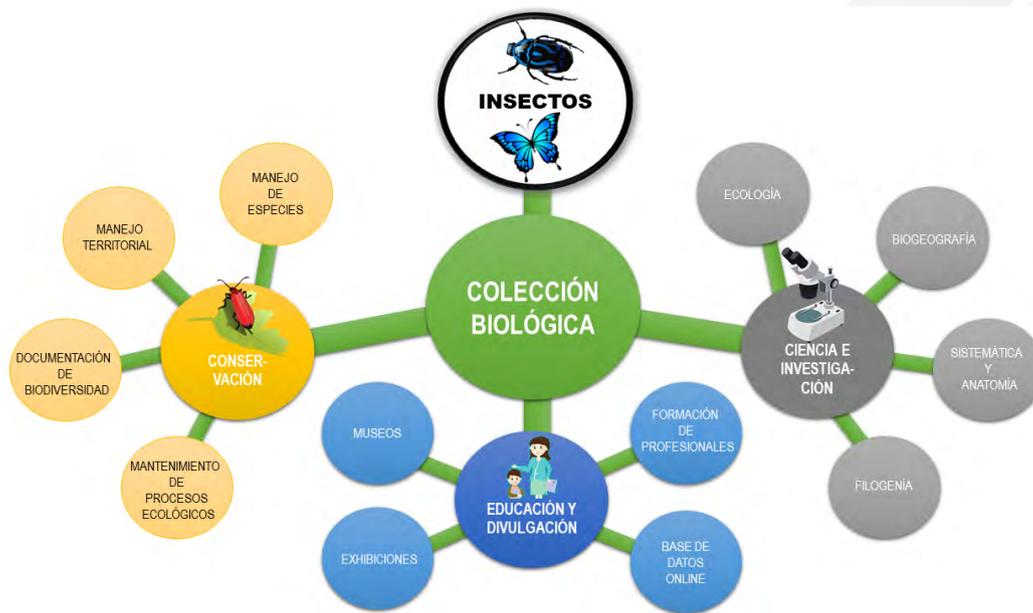


Figura 1. Aportes que pueden generarse a partir de la colección biológica de un insecto con fines científicos

Fuente: Elaborada por Roberto Daniel García

Las colecciones entomológicas

Los insectos son considerados como el grupo más importante dentro de la diversidad biológica, debido a que cinco de cada diez organismos son insectos (Costello, Wilson & Houlding, 2011; Stork, 2018). La importancia de este grupo también radica en la variedad de hábitos alimenticios que presentan, en su participación en la mayoría de los procesos ecológicos y en el alto impacto sanitario y económico que poseen (Márquez Luna, 2005; Trujillo Trujillo et al., 2014). Por dichos motivos, las colecciones biológicas de insectos son fundamentales en cuanto a la generación de conocimiento. Sumado a ello, este tipo de colecciones poseen ciertas ventajas en comparación con las de otros grupos biológicos, como veremos a continuación.

El primer paso para el estudio de los insectos es su correcta identificación taxonómica. Sin la asignación a una especie, la información generada no podrá ser bien empleada (Swing et al., 2014). En general, su identificación es una tarea compleja que requiere la revisión minuciosa de estructuras específicas del cuerpo con ayuda de microscopios (Gerlach, Samways & Pryke, 2013). Es por ello que contar físicamente con el insecto es vital para su identificación, siendo casi imposible hacerlo mediante fotos, restos u observaciones de campo, como se suele hacer con los vertebrados, hongos o algunas plantas. Esta suele ser la mayor razón para el desarrollo de colecciones entomológicas (Trujillo Trujillo et al., 2014). Desafortunadamente para los insectos, el sacrificio de algunos organismos para

su estudio es una necesidad (Swing et al., 2014). Sin embargo, la colecta de insectos no causa un efecto severo en sus poblaciones, ya que la mayoría de las especies presentan poblaciones de cientos o miles de individuos. El hecho de que se colecten principalmente organismos adultos es otro punto a favor, ya que es posible que los adultos hayan dejado descendencia y los papeles ecológicos más importantes son desempeñados durante la fase juvenil (Márquez Luna, 2005). No es la intención de este trabajo promover la colecta indiscriminada de insectos, sino establecer que son necesarias para la preservación de la biodiversidad. Lo que puede aprenderse a través de los sacrificios restringidos permite reconocer los potenciales valores ecológicos y comerciales. En este sentido, la información de una colección entomológica puede enseñarnos a salvar especies completas o a sus ecosistemas, brindando argumentos para su conservación ante la opinión del público en general (Castillo-Figueroa, 2018; Simmons & Muñoz-Saba, 2005). Además, la cantidad de insectos muertos en otras situaciones cotidianas (recorrer una ruta en auto, uso de insecticidas en casas y en cosechas, incendios forestales, etc.) es miles de veces mayor a lo que los científicos podrían provocar en conjunto (Baxter-Gilbert, Riley, Neufeld, Litzgus & Lesbarrères, 2015; Martin, Graham, Henry, Pervin & Fahrig, 2018; Pimentel, 2005). Cabe destacar que los insectos que se guardan en colecciones entomológicas son sacrificados con métodos humanamente aceptables, rápidos y eficaces, como la muerte por sobredosis de anestésicos, y que son regulados por leyes de ética profesional (Swing et al., 2014).

Dentro de los insectos hay grupos que han sido históricamente colectados debido a sus vistosos colores y formas: Los lepidópteros (mariposas y polillas) y los coleópteros (escarabajos) (Lamas, 2000). Esto ha permitido que ambos órdenes se encuentren dentro los grupos mejor estudiados a nivel mundial, siendo bioindicadores confiables y prácticos frente al cambio de las condiciones ambientales (Bishop, Majka, Bondrup-Nielsen & Peck, 2009; Gerlach et al., 2013; Naranjo-López, Lauranzón-Meléndez & Aportela-Gilling, 2012). Tanto los lepidópteros como los coleópteros son grupos representativos de los insectos, ya que más de la mitad de las especies conocidas corresponden a estos dos grupos (Stork, 2018). Su gran diversidad también dificulta su estudio en todos los niveles (taxonómico, ecológicos, etc.), es por ello que es importante impulsar el desarrollo de colecciones entomológicas que incluyan a estos grupos, sin limitarse a solo coleccionarlos y preservarlos, sino aprovechando toda la información que se pueda obtener de sus ejemplares (Gerlach et al., 2013; Márquez Luna & Asiain, 2000).

Acceso a la información de las colecciones entomológicas

Hay un interés creciente de la información almacenada en las colecciones debido al avance de la globalización, que permite contactarse y revisar especímenes desde cualquier parte del mundo. Muchos educadores, investigadores y asociaciones civiles quieren tener acceso a las bases de datos y a los ejemplares depositados (Schindel & Cook, 2018). Sin embargo, muchas colecciones no se encuentran

sistematizadas y/o digitalizadas, lo que genera un uso deficiente de la información.

Las colecciones deben estar bien documentadas y deben ser difundidas con el objetivo de poner la información a disposición de la comunidad. Los avances más significativos en accesibilidad a las colecciones biológicas es la generación de bases de datos en línea (Cook et al., 2014; Smith & Blagoderov, 2012). Algunas de las más conocidas y consultadas son las del Fondo Mundial de Información sobre la Diversidad Biológica (Global Biodiversity Information Facility, <http://www.gbif.org/>), Hormigas del Mundo (Global Ants, <http://globalants.org/>), Avispas y Abejas (Wasp & Bees Database, <http://scales.ckff.si/scaletool/?menu=6&submenu=3>), Galería de Cerambícidos del Mundo (Worldwide Cerambycoidea Photo Gallery; <https://www.cerambycoidea.com/gallery.asp>), Casinidos del Mundo (Cassidinae of the world; <http://www.cassidae.uni.wroc.pl/katalog%20internetowy/index.htm>), Insectos, Arácnidos y Miriápodos (Insects, Arachnids And Myriapods; <https://www.fieldmuseum.org/science/research/area/insects-arachnids-and-myrriapods>), y la Base de Datos de Chinchas de la Patagonia y Tierra del Fuego (<https://cadic.conicet.gov.ar/catalogo-de-chinchas-de-la-patagonia-y-tierra-del-fuego/>).

El peligro de las colecciones personales: el tráfico de animales

En este artículo se ha hecho hincapié que las colecciones biológicas siempre deben tener fines científicos, lo que permite conocer más sobre las especies y delimitar

acciones para su protección. Sin embargo, un gran problema que afecta la diversidad del planeta son las colecciones que no poseen este fin. Algunas colecciones privadas, las que poseen el mero fin de tener a los organismos en vidrieras como trofeos, son un problema que deriva en el tráfico ilegal de animales.

Los organismos traficados se convierten en joyas orgánicas destinadas a embellecer cuerpos, casas y colecciones (Vander Velden, 2019). Este comercio global, que implica el aprovechamiento de millones de individuos, no conoce barreras políticas, jurídicas, legales, éticas ni geográficas. En los países de origen, donde se está depredando la biodiversidad, se pagan sumas irrisorias por ciertos animales, que luego valdrán sumas muy superiores en los mercados de consumo (Marcos-García & Suárez, 2000). Los niveles de explotación sobre algunas especies son sumamente altos, afectando sus números poblacionales y pudiendo llevar a la extinción en una región determinada (Kurland, Pires, McFann & Moreto, 2017; Valencia González, 2018).

Los cálculos de los valores que mueve este tráfico en todo el mundo varían entre 10 mil millones y 213 mil millones de dólares (Global Financial Integrity, 2017; Valencia González, 2018). La mayoría de los estudiosos argumentan que el tráfico de animales es la tercera actividad ilícita del mundo, detrás del negocio de drogas y armas (Vander Velden, 2019). Estos negocios ilegales a menudo comparten las mismas rutas y están controladas por las mismas redes delictivas (Dalberg, 2012; Marcos-García & Suárez, 2000).

El tráfico ilegal de fauna se suele asociar a coloridas aves, al marfil de los elefantes o a los corales. Sin embargo, los insectos son un grupo altamente comercializado y su protección suele ser soslayada. Su pequeño tamaño y su ligero peso facilita su comercio, pudiendo ser transportados en grandes cantidades en una simple maleta. Debido a que los insectos son requeridos principalmente por coleccionistas o para su venta con fines ornamentales, no es necesario transportarlos con vida, permitiendo múltiples estrategias para ser camuflados. Sumado a ellos, los esfuerzos por controlar movimientos de animales no suelen estar puestos en los insectos, por lo que su tráfico puede pasar inadvertido (Marcos-García & Suárez, 2000).

Los insectos traficados por lo general terminan en el mercado negro de Estados Unidos, Canadá, Europa y China (Broad, Mulliken & Roe, 2003; Vaca & Quirce Vázquez, 2007). Los insectos más buscados son los más diversos y los mejor estudiados: Las mariposas y los escarabajos (Vander Velden, 2019). Ambos grupos son capturados y reproducidos en granjas de insectos, para luego ser vendidos a los turistas en cuadros y llaveros, pero también hay un negocio más lucrativo que involucra su uso en joyería, utilizándolos como gemas orgánicas para valiosos broches, collares y pendientes (Magtaz, 2008; Speart, 2011). En el caso de las mariposas, los abdómenes suelen ser removidos para evitar su deterioro durante el transporte. Estas prácticas generan que los ejemplares no tengan valor científico en caso de ser decomisados, ya que se requieren de

estas partes para su correcta identificación taxonómica (Marcos-García & Suárez, 2000).

El tráfico ilegal de mariposas y coleópteros tiene graves repercusiones en los ecosistemas, ya que estos grupos desempeñan funciones claves como la polinización de plantas, la dispersión de semillas, el control biológico de especies plagas, y se encuentran involucrados en el ciclo de la materia orgánica y de los minerales en el suelo, entre otras funciones ecológicas (Schowalter, 2016).

La biodiversidad de América Latina ha sido históricamente comercializada de manera indiscriminada. En los países con mayor diversidad de especies (Brasil, Perú, Colombia, México, Ecuador y Venezuela) el tráfico de animales se ha convertido en un negocio lucrativo tanto para las redes comerciales como para las personas que proveen a los animales. Cabe destacar que entre el 10 y el 15 % de la fauna traficada en el mundo proviene de Brasil (Dalberg, 2012; Giovanni, 2006; Moreno Benavidez, 2019). La mayoría de los países latinos han sufrido y sufren el negocio del tráfico de especies. Sin embargo, su registro con datos estadísticos es precario. Por ejemplo, de las 493 confiscaciones de insectos registradas en CITES entre 1975 y 2020, sólo 9 corresponden a Latinoamérica (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora, 2020).

Los débiles controles, la falta de investigación de los ilícitos y de castigos ejemplares, sumado a un desaprovechamiento de la información generada por los operativos, convergen en un conocimiento precario y en una impunidad creciente sobre el tema

(Bertonatti, 2017; Giovanni, 2006). El tráfico de animales para coleccionismo no es la causa ni el problema más grave entre todas las dificultades ambientales de Latinoamérica, pero su presión es constante y se encuentra focalizada en las especies más amenazadas o de mayor importancia económica.

Conclusiones

Según los registros históricos, la gran mayoría de especies nuevas se descubren entre las colecciones, no en la naturaleza (Swing et al., 2014). Ante la rápida pérdida de biodiversidad en todo el mundo, las medidas de gestión de los recursos naturales se han enfocado en acelerar el inventario de biodiversidad mundial, a fin de entender su funcionamiento e integrarlo con el desarrollo sustentable de nuestra especie (Paz, González & Crawford, 2011). La abundante información que ofrece cualquier espécimen significa que una colección científica sería una de las pocas posibilidades en donde la muerte de un individuo pueda beneficiar a su propia especie, a su ecosistema y a la humanidad (Castillo-Figueroa, 2018; Cook et al., 2014).

En Latinoamérica, la falta de colecciones y especialistas, la disminución de la colecta de especímenes con fines científicos, los problemas económicos para la generación y el mantenimiento de las colecciones, entre otros, son indicadores de que se necesita un mayor compromiso para mejorar nuestro conocimiento sobre los organismos, lo que permitirá tomar mejores decisiones en cuanto al manejo de los ecosistemas (Kemp, 2015; Márquez Luna, 2005; Suarez & Tsutsumi, 2004). Es imperante

comunicar al público en general el por qué es necesario conservar y mantener colecciones biológicas. Los museos, las exhibiciones, los artículos de divulgación y otras actividades pueden realzar el valor, muchas veces desconocido, de las colecciones biológicas, ubicándolas como patrimonio regional y nacional. La educación es vital para crear conciencia sobre toda la vida que el humano ha registrado y, más aún, por lo que queda por descubrir y proteger.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Nacional del Comahue (UNCo) por permitirnos utilizar las instalaciones necesarias para este trabajo. Este trabajo fue financiado por los proyectos UNCo B215 y UNCo 04/B237. M. Villagrán y D.N. Wittner Fernández son estudiantes y pasantes de la UNCo; R.D. García es el investigador asistente de CONICET y M.E. Kun es profesor adjunto de la UNCo.

Referencias

- Ariño, A. H. (2010). Approaches to estimating the universe of natural history collections data. *Biodiversity Informatics*, 7, 81–92. <https://doi.org/10.17161/bi.v7i2.3991>.
- Baxter-Gilbert, J. H., Riley, J. L., Neufeld, C. J., Litzgus, J. D. & Lesbarrères, D. (2015). Road mortality potentially responsible for billions of pollinating insect deaths annually. *Journal of Insect Conservation*, 19, 1029–1035. <https://doi.org/10.1007/s10841-015-9808-z>.

- Bertonatti, C. (2017). Un muestreo del tráfico de especies en la Argentina durante el año 2016. *Fundación de Historia Natural Félix de Azara*, Buenos Aires.
- Bishop, D. J., Majka, C. G., Bondrup-Nielsen, S. & Peck, S. B. (2009). Deadwood and saproxylic beetle diversity in naturally disturbed and managed spruce forests in Nova Scotia. En C. G. Majka & J. Klimaszewski (Eds.), *Biodiversity, biosystematics, and ecology of Canadian Coleoptera II*, *ZooKeys* 22 (pp. 309–340). <https://doi.org/10.3897/zookeys.22.144>.
- Broad, S., Mulliken, T. & Roe, D. (2003). The nature and extent of legal and illegal trade in wildlife. En S. Oldfield (Ed.), *The trade in wildlife: regulation for conservation* (pp. 3–22). Earthscan, Londres.
- Castillo-Figueroa, D. & Pérez-Torres, J. (2018). First records of wing defects in phyllostomid bats from Colombia. *Journal of Bat Research & Conservation*, 11. <https://doi.org/10.14709/BarbJ.11.1.2018.01>.
- Castillo-Figueroa, D. (2018). Beyond specimens: linking biological collections, functional ecology and biodiversity conservation. *Revista Peruana de Biología*, 25, 343–348. <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v25i3.14246>.
- Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. (2020). CITES Trade Database. Recuperado el 26 de octubre de 2020 de: <https://trade.cites.org>.
- Cook, J., Edwards, S. V., Lacey, E. A., Guralnick, R. P., Soltis, P. S., Soltis, D. E., ... Ickert-Bond, S. (2014). Natural history collections as emerging resources for innovative education. *BioScience*, 64, 725–734. <https://doi.org/10.1093/biosci/biu096>.
- Costello, M. J., Wilson, S. & Houlding, B. (2011). Predicting total global species richness using rates of species description and estimates of taxonomic effort. *Systematic Biology*, 61, 871. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syr080>.
- Crisci, J. V. & Katinas, L. (2017). Las colecciones de historia natural: memoria colectiva de la humanidad. *Museo*, 29, 23–30.
- Dalberg (2012). La lucha contra el tráfico ilícito de vida silvestre: Una consulta con los gobiernos. *WWF Internacional*, Gland.
- Darrigran, G. (2012). Las colecciones biológicas: ¿Para qué? *Boletín Biológica*, 23, 28–31.
- Davy, A. J. (2005). Museum specimens breathe life into plant conservation? *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 285–286. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.015>.
- Delgadillo, I. & Góngora, F. (2009). Colecciones biológicas: Estrategias didácticas en la enseñanza-aprendizaje de la Biología. *Biografía*, 2, 131–140.

- Gerlach, J., Samways, M. & Pryke, J. (2013). Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation*, 17, 831–850. <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9565-9>.
- Global Financial Integrity. (2017). *Illicit Financial Flows to and from Developing Countries: 2005–2014*. Global Financial Integrity, Washington.
- Giovanni, D. (2006). Taking animal trafficking out of the shadows: RENTAS uses the internet to combat a multi-billion-dollar trade. *Innovations: Technology, Governance, Globalization*, 1, 25–35.
- Gropp, R. (2018). Specimens, collections, and tools for future biodiversity-related research. *BioScience*, 68, 3–4. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix155>.
- Interagency Working Group on Scientific Collections. (2009). *Scientific collections: Mission-critical infrastructure of federal science agencies*. National Science and Technology Council, Committee on Science, Office of Science and Technology Policy, Washington.
- Kemp, C. (2015). The endangered dead. *Nature*, 518, 292–294. <https://doi.org/10.1038/518292a>.
- Kowarik, I. (2011). Novel urban ecosystems, biodiversity, and conservation. *Environmental Pollution*, 159, 1974–1983. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.02.022>.
- Kress, J. W. (2014). Valuing collections. *Science*, 346, 1310. <https://doi.org/10.1126/science.aaa4115>.
- Kurland, J., Pires, S. F., McFann, S. C. & Moreto, W. D. (2017). Wildlife crime: a conceptual integration, literature review, and methodological critique. *Crime Science*, 6, 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40163-017-0066-0>.
- Lamas, G. (2000). Estado actual del conocimiento de la sistemática de los lepidópteros, con especial referencia a la región Neotropical. En F. Martín-Piera, J.J. Morrone & A. Melic (Eds.), *Hacia un Proyecto CYTED para el inventario y estimación de la diversidad entomológica en Iberoamérica: PRIBES* (pp. 253–260). Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza.
- Magtaz, M. (2008). *Joalheria brasileira: do descobrimento ao século XX*. Pinacoteca do Estado de São Paulo, São Paulo.
- Marcos-García, M. & Suárez, C. (2000). El tráfico ilegal de especies silvestres. *Cuadernos de Biodiversidad*, 5, 12–14.
- Márquez Luna, J. & Asiain, J. (2000). La colección de Coleoptera (Insecta) del Museo de Zoología “Alfonso L. Herrera”, Facultad de Ciencias, UNAM, México. *Acta Zoológica Mexicana, nueva serie*, 79, 241–255.
- Márquez Luna, J. (2005). Técnicas de colecta y preservación de insectos. *Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa*, 37, 385–408.

- Martin, A. E., Graham, S. L., Henry, M., Pervin, E. & Fahrig, L. (2018). Flying insect abundance declines with increasing road traffic. *Insect Conservation and Diversity*, 11, 608–613. <https://doi.org/10.1111/icad.12300>.
- Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E. & Álvarez, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85, 1–9. <https://doi.org/10.7550/rmb.43248>.
- Montaño, M., Meza, A. M. & Dias, L. (2012). La colección entomológica CEBUC y su potencial como colección de referencia de insectos acuáticos. *Boletín Científico Museo de Historia Natural*, 16, 173–184.
- Moreno Benavides, J. C. (2019). *Estado del arte sobre el tráfico de fauna silvestre en América Latina: causas, consecuencias y estrategias*. Tesis doctoral. Universidad Santiago de Cali. Cali. En <https://repository.usc.edu.co/handle/20.500.12421/626>.
- Naranjo-López, C., Lauranzón-Meléndez, B. & Aportela-Gilling, P. (2012). Mariposas diurnas (Insecta: Lepidoptera) en la colección Charles T. Ramsden de la Universidad de Oriente en Santiago de Cuba. *Ciencia en su PC*, 1, 107–118.
- Paz, A., González, M. & Crawford, A. J. (2011). Códigos de barras de la vida: introducción y perspectiva. *Acta Biológica Colombiana*, 16, 161–175.
- Pimentel, D. (2005). Environmental and economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environment, Development and Sustainability*, 7, 229–252. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-7314-2>.
- Pyke, G. H. & Ehrlich, P.R. (2010). Biological collections and ecological/environmental research: a review, some observations and a look to the future. *Biological Reviews*, 85, 247–266. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2009.00098.x>.
- Rey Fraile, I. (2013). Museos, colecciones científicas y ADN. *Memorias Revista de la Sociedad Española de Historia Natural 2ª ép.*, 11, 53–68.
- Rocha, L. A., Aleixo, A., Allen, G., Almeda, F., Baldwin, C. C., Barclay, M. V., ... Witt, C. C. (2014). Specimen collection: An essential tool. *Science*, 344(6186), 814–815. <https://doi.org/10.1126/science.344.6186.814>.
- Sánchez-Bayo, F. y Wyckhuys, K. A. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>.
- Schindel, D. E. & Cook, J. A. (2018). The next generation of natural history collections. *PLoS Biology*, 16, e2006125. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2006125>.
- Schowalter, T. D. (2016). *Insect ecology: an ecosystem approach*. Academic press, Baton Rouge.

- Segovia-Salcedo, M. C., Carrasco, L. & Acosta Buenaño, N. (2015). Las colecciones biológicas: Los tesoros escondidos de un país mega-diverso. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 36, 83–88.
- Shochat, E., Lerman, S. B., Anderies, J. M., Warren, P. S., Faeth, S. H. & Nilon C. H. (2010). Invasion, competition, and biodiversity loss in urban ecosystems. *Bioscience*, 60, 199–208. <https://doi.org/10.1525/bio.2010.60.3.6>.
- Simmons, J. E. & Muñoz-Saba, Y. 2005. *Cuidado, manejo y conservación de las colecciones biológicas*. Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Smith, V. S. & Blagoderov, V. (2012). Bringing collections out of the dark. *ZooKeys*, 209, 1–6. <https://doi.org/10.3897/zookeys.209.3699>.
- Speart, J. (2011). *Winged obsession: the pursuit of the world's most notorious butterfly smuggler*. William Morrow Paperbacks, New York.
- Springer, M. (2019). La colección de Entomología Acuática del Museo de Zoología, Universidad de Costa Rica: lista actualizada de géneros, importancia y retos futuros. *Revista de Biología Tropical*, 67, S200–S211. <https://doi.org/10.15517/RBT.V67I2SUPPL.37232>.
- Stork, N. E. (2018). How many species of insects and other terrestrial arthropods are there on Earth? *Annual Review of Entomology*, 63, 31–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043348>.
- Suarez, A. V. & Tsutsui, N. D. (2004). The value of museum collections for research and society. *BioScience*, 54, 66–74. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0066:TVOMCF\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0066:TVOMCF]2.0.CO;2).
- Swing, K., Denkinger, J., Carvajal, V., Encalada, A., Silva, X., Coloma, L. A., ... Valdebenito, H. (2018). Las colecciones científicas: percepciones y verdades sobre su valor y necesidad. *Bitácora Académica*, 1, 1–46.
- Trujillo Trujillo, E., Vargas-Triviño, P. A. & Salazar-Fajardo, L. V. (2014). Clasificación, manejo y conservación de colecciones biológicas: una mirada a su importancia para la biodiversidad. *Momentos de Ciencia*, 11, 97–106.
- Vaca, M. & Quirce Vázquez, C. (2007). Exposición itinerante. Biodiversidad amenazada: tráfico ilegal e introducción de especies. *Cuadernos de Biodiversidad*, 24, 20–26.
- Valencia González, C. (2018). Fauna silvestre en Colombia: entre la ilegalidad y las oportunidades del comercio internacional en la CITES. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, 55, 128–145. <https://doi.org/10.35575/rvucn.n55a5>.
- Vander Velden, F. (2019). Preciosa naturaleza: los animales como joyas y ornamento en el tráfico de fauna silvestre. *Tabula Rasa*, 32, 127–156. <https://doi.org/10.25058/20112742.n32.07>

Wen, J., Ickert-Bond, S. M., Appelhans, M. S., Dorr, L. J. & Funk, V. A. (2015). Collections-based systematics: Opportunities and outlook for 2050. *Journal of Systematics and Evolution*, 53, 477–488. <https://doi.org/10.1111/jse.12181>.