

¿Qué es la Biodiversidad?: Patrones, teorías y amenazas

Hernán Cofré

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
hernan.cofre@pucv.cl

Cristian Atala

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
cristian.atala@pucv.cl

Resumen

El concepto de biodiversidad aparece en el currículum de ciencia cruzando todo el primer año medio en el área de biología. Entendida como el resultado de la evolución, también es un tema recurrente cuando queremos comprender las comunidades biológicas y el funcionamiento de los ecosistemas. En esta revisión nos centramos en la definición taxonómica y ecológica de la biodiversidad, tratando de entregar información relevante para comprender cómo se ha ido construyendo el conocimiento científico sobre ella y cuáles son sus principales amenazas en Chile. En una primera parte revisamos la relación entre biodiversidad y clasificación, para luego pasar al análisis de los patrones geográficos de la riqueza de especies y las explicaciones que han generado los ecólogos para explicarlos. Luego de eso revisamos algunos datos sobre la biodiversidad de Chile y cuales serían sus principales amenazas. Al finalizar, ofrecemos información que, a la luz de la enseñanza de la ecología, puede ser útil para abordar este concepto en la educación secundaria y terciaria.

Palabras clave: Biodiversidad, riqueza de especies, amenazas, Chile.

Introducción

Según el biólogo evolutivo Ernst Mayr, “el aspecto más impresionante del mundo vivo es su diversidad” (Mayr, 1996, pág. 143). Si no tomamos en cuenta los organismos coloniales y aquellos asexuados, podemos decir que no hay dos organismos iguales y tampoco dos especies o dos ecosistemas. Y aunque nuestro conocimiento de la diversidad de la vida se ha incrementado exponencialmente en los últimos trecientos años, aun nos quedaría por conocer cerca del 80% de las especies de organismos eucariontes que podrían existir (Mora et al., 2011). Es decir, todavía nos quedarían más de siete millones de especies por descubrir, especialmente en algunos grupos como los insectos y los hongos.

Pero ¿a qué nos referimos con “diversidad de la vida” o “biodiversidad”? El término “Biodiversidad” fue acuñado en 1988 por E. O. Wilson (1988), como contracción de la expresión “diversidad biológica”. Hoy en día, el término es un concepto multifacético que se refiere a la variedad y variabilidad de todos los organismos y sus hábitats, así como a las relaciones que se originan entre ellos. Sin embargo, el público en general solo reconoce el término en relación con número de especies de un lugar (riqueza o s), dejando de lado otros componentes (genes, poblaciones, grupos funcionales, comunidades y unidades de paisaje) y atributos (abundancia relativa, rango, endemismo, interacciones y relaciones filogenéticas) (Menzel & Bögeholz, 2009; Bermúdez et al., 2014). De esta forma, es importante destacar que hoy en día la biodiversidad se reconoce como una expresión integradora de muchas diferentes escalas espaciales o de organización, desde genes hasta paisajes, y donde cada nivel o escala posee tres componentes diferentes: su composición, su estructura y su función

(Cardinale et al., 2012).

Si tan solo nos concentramos en el aspecto taxonómico o el número de especies que conocemos para evaluar nuestra comprensión de la biodiversidad, es claro que saber cuántas plantas y animales hay en el planeta es un tema absolutamente fundamental. Según el zoólogo Robert May: "sin este conocimiento, ni siquiera podemos comenzar a responder preguntas como cuánta diversidad podemos perder mientras mantenemos los servicios de los ecosistemas de los que depende la humanidad". En este sentido, uno de los principales problemas que deben enfrentar los encargados de desarrollar planes de conservación para prevenir la pérdida de biodiversidad, es la falta de datos básicos sobre la ecología y la biología de las especies.

En el caso de Chile, existe consenso internacional de que tanto la región Mediterránea como la de los Bosques Templados son áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad, especialmente por su alto grado de endemismo y de amenaza (Arroyo et al., 2006; Myers et al. 2000). Chile Central ha sido incluido como uno de los 25 Hotspots de biodiversidad en el mundo. Esta ecorregión, que se ubica entre los 31° 30'S y los 36° 30'S se caracteriza por tener la densidad de población humana más alta del país y como consecuencia, un alto grado de alteración antrópica. Pese a todos los impactos y amenazas que enfrentan los ambientes terrestres y acuáticos de esta zona, en ella existen muy pocas unidades pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE), destinadas a proteger los ambientes de bosque. De hecho, solo el 4,2 % (6.504 km²) del área total de la biota Mediterránea se encuentra protegida en la actualidad (Arroyo et al., 2006). Un ejemplo que grafica esta situación es que existen sólo dos unidades del SNASPE, destinadas a proteger el bosque caducifolio de *Nothofagus* (e. g. Hualo, Ruil) o bosque Maulino. Estas son La Reserva Nacional Los Ruyes y La Reserva Nacional Los Queules. Ambas reservas no alcanzan a cubrir 200 hectáreas de uno de los bosques más singulares y amenazados del planeta.

Por otra parte, en el nivel de primero medio del currículum nacional, el concepto de biodiversidad se presenta como resultado del proceso de evolución (Unidad 1: Evolución y biodiversidad) y como parte de la estructura y dinámica de nuestros ecosistemas naturales (Unidad 2: Organismos en ecosistemas). En la Tabla 1 se muestran algunos de los objetivos de aprendizaje de dichas unidades que más se relacionan con la biodiversidad.

Por lo tanto, que estudiantes, profesores y ciudadanos en general comprendan todos los aspectos de la biodiversidad y su preservación, debería ser uno de los objetivos principales de la educación científica de Chile. En esta revisión trataremos de dar información relevante para lograr este objetivo. Presentaremos algunos aspectos históricos de la investigación sobre la biodiversidad, enfocándonos tanto en los datos, patrones y tendencias estudiadas como en las ideas, hipótesis y teorías desarrolladas. Finalmente, haremos una revisión sucinta de la biodiversidad en Chile, algunas de las amenazas que ella enfrenta y propondremos algunas formas para motivar a estudiantes y profesores a que la comprendan y la vivan en su territorio.

Tabla 1. Concepto de Biodiversidad en el programa de estudio de primero medio (Fuente: Elaboración propia a partir del programa de estudio de primero medio vigente [Mineduc 2016]).

Objetivo de Aprendizaje	Ejemplo de indicador de evaluación
<p>OA2 Analizar e interpretar datos para proveer de evidencias que apoyen que la diversidad de organismos es el resultado de la evolución</p>	<p>Analizan secuencias de ADN para inferir relaciones de parentesco.</p>
<p>OA3 Explicar, basados en evidencias, que la clasificación de la diversidad de organismos se construye a través del tiempo sobre la base de criterios taxonómicos que permiten organizarlos en grupos y subgrupos, identificando sus relaciones de parentesco con ancestros comunes.</p>	<p>Describen la clasificación de organismos mediante la investigación de criterios taxonómicos usados en el tiempo (morfología, comportamiento, ecología, estructura molecular, entre otros).</p> <p>Clasifican la biodiversidad a partir de observaciones e identifican la diversidad de organismos presentes en el entorno.</p>
<p>OA4 Investigar y explicar cómo se organizan e interactúan los seres vivos en diversos ecosistemas, a partir de ejemplos de Chile, considerando</p> <ul style="list-style-type: none"> - los niveles de organización de los seres vivos - las interacciones biológicas 	<p>Explican la organización de la biodiversidad en sus distintos niveles como organismos, poblaciones y comunidades de ecosistemas en asociación con las condiciones climáticas de su ubicación mediante el uso de modelos.</p> <p>Investigan ecosistemas de su entorno, considerando fauna, flora, factores abióticos y las características propias de su clasificación, de acuerdo a convenciones científicas o a la cosmovisión de pueblos originarios en Chile.</p>

Desarrollo

Clasificación de los seres vivos: Sistemática, Taxonomía y Biodiversidad

Los seres humanos, para poder entender cosas complejas, usualmente las subdividimos y clasificamos. Esto nos permite abordar segmentos o partes de esta complejidad en porciones manejables y nos ayuda a darle una estructura al objeto de estudio. La biodiversidad global está compuesta de millones de especies y, naturalmente, hemos creado un sistema para poder estudiar y entender esa diversidad basado en dividirla en partes más pequeñas, agrupando por similitud. Una primera cosa que se desprende de esto es que la manera cómo clasifico y agrupo depende de los criterios que use, del momento histórico, y de la o las personas que la propongan. Esto significa que no es inmutable, como se piensa a veces. Ya antes de Cristo (siglo IV a.c.), Aristóteles clasificó los seres vivos en dos reinos; animales y plantas, basado principalmente en si tenían o no movimiento autónomo. A medida que avanzó la tecnología, se pudo observar otros caracteres y fueron cambiando la manera de entender y clasificar los seres vivos. Un ejemplo de esto es que no es sino hasta la segunda mitad del siglo XX que los hongos se agruparon en un reino aparte de las plantas (Whittaker, 1957, 1959). Hoy nos puede parecer increíble, pero antes de 1950 los hongos eran, para todos los efectos, parte del reino de las plantas. Una de las últimas propuestas establece siete reinos, incluyendo: Bacteria, Archaea, Protozoa, Chromista, Plantae, Fungi y Animalia (Tabla 2).

Tabla 2. Propuestas de reinos de la vida a través de la historia (Fuente: Elaboración propia).

Número de Reinos	Reinos	Cita
2	Plantas y Animales	Aristóteles
2	Plantas y Animales	Linnaeus, C. (1735).
3	Plantas, Animales, Protistas	Haeckel, E. (1866).
4	Plantas, Animales, Protistas Monera	Copeland, H. (1938).
5	Plantas, Animales, Protistas Monera, Fungi	Whittaker R. H. (1957). Whittaker R. H. (1959). Whittaker, R. H. (1969).
6	Planta, Animal, Protista, Monera, Fungi, Eubacteria, Archaeobacteria	Woese, C. R. y Fox, G. E. (1977).
8	Planta, Animal, Protista, Monera, Fungi, Eubacteria, Archaeobacteria, Archezoa, Chromista	Cavalier-Smith, T. (1981).
7	Bacteria, Archaea, Protozoa Chromista, Plantae, Fungi, Animalia	Ruggiero, M A. et al., (2015).

Taxonomía y sistemática

Entonces, para la comprensión de la diversidad biológica, se establecieron categorías anidadas, basadas en similitud principalmente morfológica. La ciencia encargada de establecer dichas categorías y nombrarlas se denomina taxonomía, y cada una de estas categorías es un taxón (plural: taxa). De menor a mayor similitud estas categorías son: dominio, reino, phylum (división en plantas), clase, orden, familia, género y especie. De todas estas categorías, lo único que existe de forma natural es la especie, e incluso eso es debatible (por ejemplo, para el caso de especies crípticas). También existen algunas categorías infra-específicas como subespecie, variedad, forma, etc. Todas estas categorías se escriben latinizadas y corresponden a una palabra, excepto la especie, que se debe indicar con dos palabras; el género y el epíteto específico, como por ejemplo *Homo sapiens*. Este sistema binomial (de dos palabras) fue inventado por Linneo en el siglo XVIII y se utiliza hasta la fecha. Al agrupar organismos basado solo en similitud morfológica, puede darse el caso que se agrupen especies no emparentadas evolutivamente que han convergido a formas similares. Existe otra disciplina, relacionada con la taxonomía, que es la sistemática. Esta ciencia se preocupa de establecer relaciones de parentesco evolutivo entre organismos y/o grupos de organismos. Cuando un sistema taxonómico representa cercanamente la historia evolutiva de los grupos, se dice que es un sistema más natural. Con el desarrollo de la biología molecular, la sistemática actual se basa, aparte de caracteres morfológicos, en secuencias de ADN, lo que permite comparar cientos de miles de bases simultáneamente con el apoyo de software especializados. Esto ha cambiado radicalmente cómo entendemos y organizamos la diversidad en los últimos años. En plantas, por ejemplo, se pasó de un sistema taxonómico basado en similitud morfológica, anatómica y química (Cronquist 1981), a una clasificación más sistemática (cladística), basado en cercanía evolutiva (filogenética), como el APG (Byng et al., 2016).

Patrones Ecológicos de la Biodiversidad

Al definir la diversidad entre especies o taxonómica de un sitio (e.g. comunidad, ecosistema, región, país, etc.) como el número de especies diferentes que lo habitan, nos podemos dar cuenta que esta diversidad o riqueza de especies varía temporal y geográficamente. Si

reconozco las especies de aves que llegan a mi jardín en Viña del Mar durante el año, por ejemplo, podría registrar en junio: chercanes, picaflores chicos, zorzales, gorriones y chincoles, mientras que en octubre es posible que cuente: zorzales, gorriones, chincoles, chercanes, fio-fios y picaflores gigantes. Es decir, en el tiempo, cambió tanto el número de especies (5 a 6) como la identidad de ellas (se fueron los picaflores chicos y llegaron los fio-fios y los picaflores gigantes). Pero, además, es muy probable que, en octubre, en el jardín de una casa en Arica o en Punta Arenas no registren las mismas especies de aves que yo he visto en Viña del Mar ese mismo mes.

Esta variación y diferencias en diversidad de especies han sido descritas desde siglos atrás. Por ejemplo, Carl von Linnaeus (1707–1778), fue el primero en describir el gradiente altitudinal de riqueza de especies. Unas décadas más tarde, el naturalista Alexander von Humboldt (1769–1859), realizando observaciones detalladas a lo largo del Monte Chimborazo en los Andes ecuatorianos, describió como las especies iban disminuyendo a medida que se ascendía en altura. El mismo patrón que describió C. Darwin (1809, 1882) en los Andes chilenos. Humboldt también fue uno de los primeros en darse cuenta de que había una región del mundo, el trópico, la cual parecía tener muchas más especies que otras regiones, como la templada o la mediterránea. Esta misma regularidad también fue descrita por otro de los creadores de la teoría de la selección natural: Alfred Russel Wallace (1823–1913). Ya a comienzos del siglo pasado, O. Arrenius (1921) y H. Gleason (1922) polemizaban sobre cuál era la “fórmula matemática” o el escalamiento exacto de la relación entre el área de un sitio de muestreo (cuadrante) y el número de especies que se puede encontrar en éste. Estos tres patrones; descenso de diversidad al aumentar la latitud o la altitud y aumento del número de especies con el área o tamaño del sitio, son algunas de las regularidades más ubicuas en la naturaleza (Figura 1).

Otros patrones ampliamente reconocidos en ecología y que de alguna forma tienen que ver con la diversidad de especies son: 1) la disminución de especies de las islas al aumentar la distancia al continente (Mac Arthur y Wilson 1967) (Figura 1); 2) mayor prevalencia de especies raras en comunidades más diversas (Preston 1962); 3) mayor número de especies de tamaño pequeño en lugares más diversos (Hutchinson y MacArthur 1959); y 4) mayor número de especies aumentan la productividad y “mejoran” otros procesos ecosistémicos (Naeem et al., 1994).

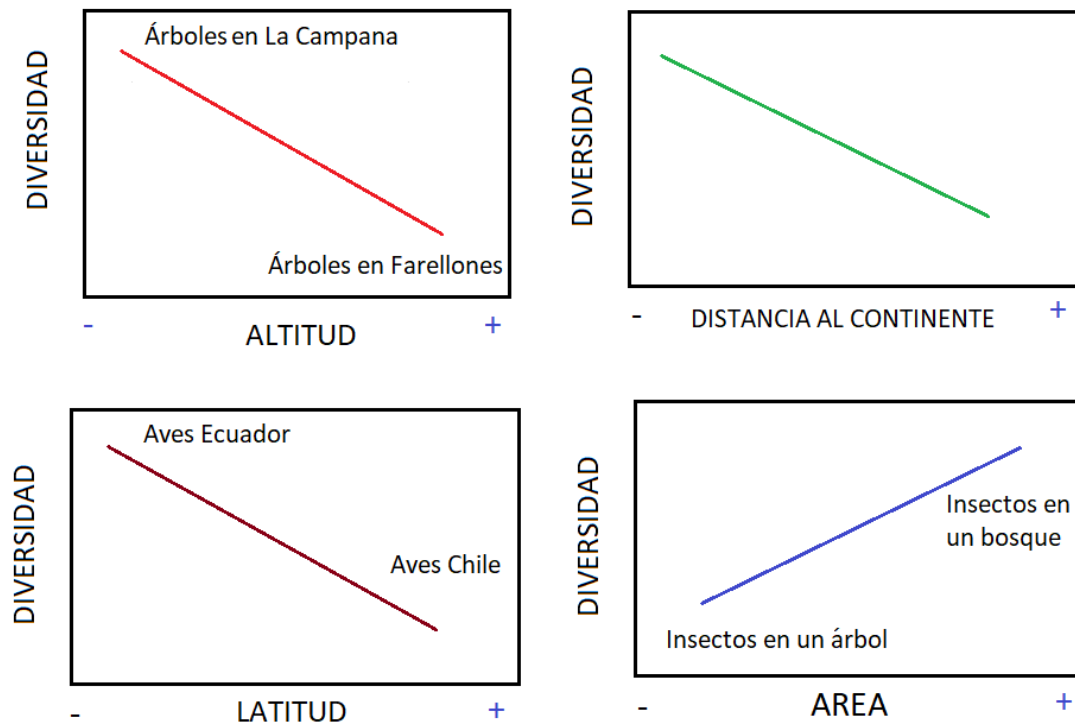


Figura 1. Patrones recurrentes de diversidad de especies en la naturaleza. (Fuente: Elaboración propia).

Junto con el cambio en el número e identidad de las especies a través de diferentes factores espaciales o geográficos, los ecólogos y naturalistas se dieron cuenta que existían otras variables ecológicas que también cambiaban o se relacionaban con el número de especies. De esta forma, los científicos se dieron cuenta que los sitios con más especies muchas veces presentan un gran número de especies poco abundantes o lo que es lo mismo, unas pocas especies presentan muchos individuos, mientras otras solo registran unos pocos (Figura 2a). La constatación de este nuevo patrón llevó a que los ecólogos crearan nuevas formas de describir la diversidad de especies, ya no solo a través del número de especies, sino también a través de evaluar el número de individuos que cada una de ellas presentaba en un sitio. Esto es lo que se conoce como los índices de diversidad, siendo algunos de los más simples los de Shannon y Simpson. Estos índices, nos dan una idea, más que del número exacto de especies que hay en un sitio, de la probabilidad que tenemos de encontrarnos con las especies si recorremos un sitio. La investigadora Anne Magurran, ha realizado un gran aporte a la búsqueda de la mejor forma de realizar una medición acertada de lo que es la biodiversidad (Magurran, 1988). En la Figura 2b se describe como un sitio puede ser más diverso que otro, aun teniendo la misma riqueza (5), solo porque el número de individuos de cada especie está distribuido más equitativamente. Así, al realizar dos transectos (simbolizados como líneas en rojo) en el sitio 1 podremos contar 3 especies en cada uno, mientras que en el sitio 2 solo contaremos 2 especies.

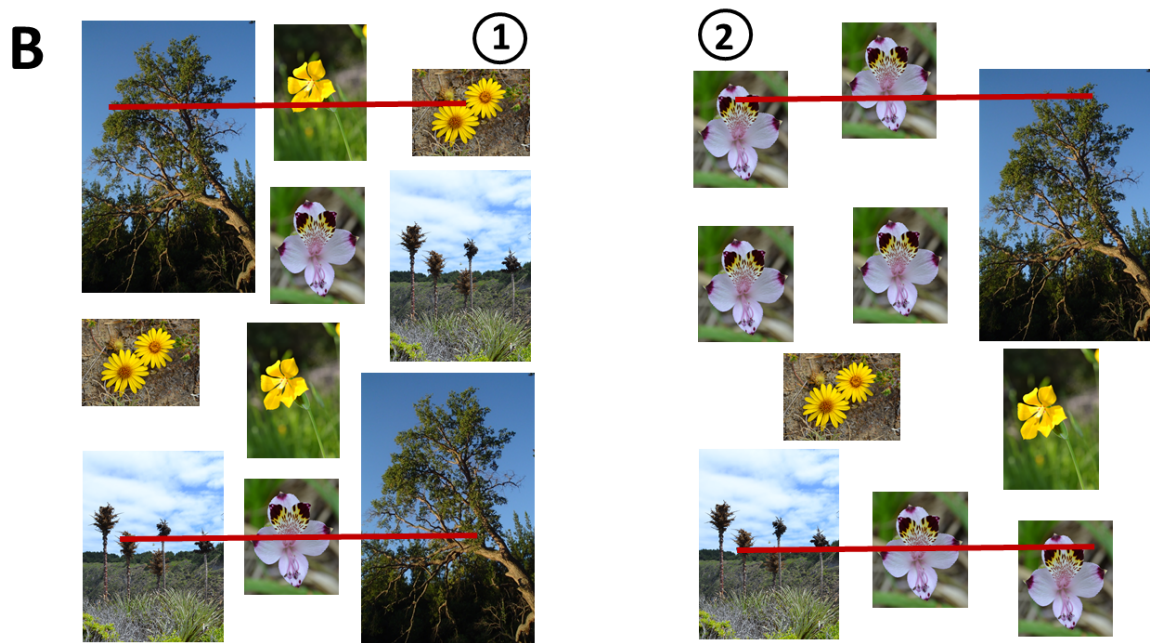
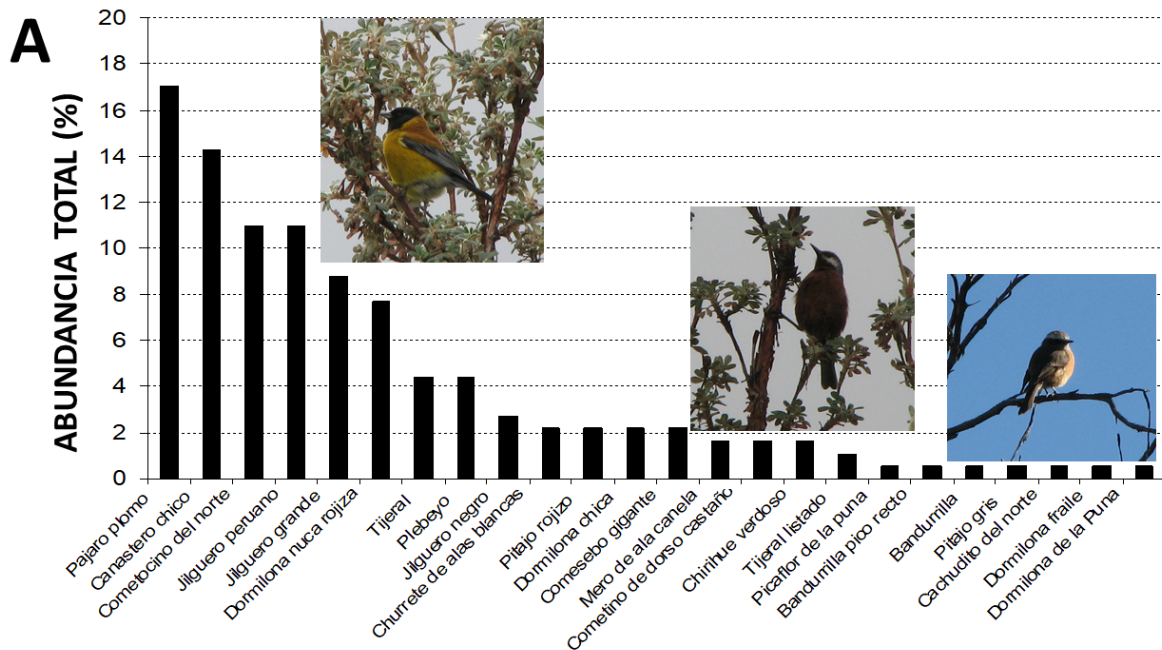


Figura 2. (A) En la parte superior, se muestra el % de individuos de cada especie de aves con respecto al total en una zona de bosques o matorrales de *Polylepis* (Queñoa) en la precordillera de la primera región. De las 24 especies registradas, 15 representan menos del 2% del total de individuos avistados. El cometocino del norte (*Phrygilus atriceps*), se muestra como ejemplo de especie abundante y el Comesebo gigante (*Conirostrum binghami*) y el Pitajeo gris (*Ochthoeca leucophrys*), se muestran como ejemplos de especies raras. (B) Dos sitios con igual número e identidad de especies, pero en que el número de individuos por cada especie difiere. En el sitio 1 existen dos individuos por especie, mientras que en el sitio 2 hay una especie que representa más del 50% del total de individuos. En ecología se dice que el sitio 1 es más “equitativo” por lo que presentará índices de diversidad más altos que el sitio 2 (Fuente: Elaboración propia).

En la siguiente sección, revisaremos como los científicos han tratado de explicar cada uno de estos patrones con diferentes hipótesis, e incluso han hecho esfuerzos por generar una teoría de la Biodiversidad, la cual pueda explicar todos los fenómenos relacionados con la estructura de las comunidades de especies.

Hipótesis y teorías que explican la biodiversidad

Linneo (1743), Humboldt (1849) y muchos de sus contemporáneos vieron a la disminución de especies con la altitud y la latitudinal como una respuesta a los mismos factores ambientales; las clinas espaciales en clima y energía. Específicamente, Humboldt propuso que el trópico tenía más especies debido a que, *“en esta parte de la Tierra existe un clima más favorable (Temperatura, precipitaciones, etc.)” para las especies durante todo el año*. Por su parte Wallace, padre de la biogeografía, propuso que la mayor diversidad del trópico se debía a la historia de dicho ambiente. Según él, *“el trópico ha sufrido menos glaciaciones y otras perturbaciones por lo que las especies han tenido más tiempo para evolucionar y diversificarse”*. Es decir, desde los comienzos se han explicado los patrones de diversidad tanto a factores climáticos como históricos. No obstante, ya a mediados del siglo pasado se comenzaron a generar algunas hipótesis que también incorporaban en la explicación la cantidad de recursos disponibles y las interacciones entre especies (competencia y/o depredación). Por ejemplo, Robert MacArthur (1930-1972), quien realizó su tesis doctoral con G.E. Hutchinson (1903–1991) sobre la división de nichos ecológicos entre cinco especies de aves en los bosques de coníferas de Maine y Vermont, propuso la hipótesis que: *“Mayor cantidad de especies podían coexistir en ambientes más complejos, ya que éstos ofrecían mayor cantidad de recursos y mayor variedad de sitios de alimentación, promoviendo la especialización de las especies, disminuyendo la competencia por alimento”* (MacArthur 1958). Por su parte Hutchinson, creador del concepto contemporáneo de nicho ecológico, proponía en su clásico artículo: *“Homenaje a Sta. Rosalía o por qué existen tantos tipos de animales”*, que la diversidad de especies de un lugar era: *“principalmente el producto de la energía disponible en el sitio”*. Esta propuesta, junto con la proporción de 1,3 como máxima similitud entre las especies para evitar los efectos negativos de la competencia, fueron algunos de los legados más importantes de este investigador (Hutchinson, 1959). Poco tiempo después, Robert Paine (1933–2016), estudiando el ambiente intermareal (roqueríos que podemos visitar en gran parte de la costa central de Chile) propuso su hipótesis del depredador clave como modulador de la biodiversidad. En ella establece que: *“la diversidad de especies animales locales está relacionada con el número de depredadores en el sistema y su eficiencia para evitar que una sola especie monopolice algún recurso importante y limitante”*. En el intermareal rocoso marino este requisito suele ser el espacio. Es interesante notar que, en su estudio, Paine no encontró relación entre la latitud (estudió un rango entre 10° a 49° N) y la diversidad de especies animales del intermareal (Paine, 1966). Un año después, MacArthur y Edward O. Wilson (1929 -) propusieron la primera “Teoría” para explicar la diversidad. En su teoría de biogeografía de islas, ellos presentaron un modelo matemático de equilibrio dinámico en que: *la diversidad de un sitio (específicamente una isla) es el resultado de tasas opuestas de extinción y colonización, las cuales son función del tamaño de la isla y de su distancia a la fuente de colonizadores* (MacArthur y Wilson 1967). Este modelo tenía la particularidad de que no necesitaba invocar a la competencia, ni otras interacciones ecológicas de las especies para funcionar, aunque era evidente que las distintas

especies no presentan las mismas tasas de colonización y extinción. Este último aspecto fue de hecho rápidamente corroborado por uno de los experimentos más influyentes de la ecología: la defaunación de artrópodos de un grupo de manglares de Florida realizado por Daniel Simberloff (1942 -) y Wilson, cuyas conclusiones fueron que: “creemos que las curvas [de colonización] son producidas por un arribo que implica poca o ninguna interacción, luego ocurre una disminución gradual a medida que la interacción se vuelve importante y, finalmente se llega a un equilibrio dinámico duradero (Figura 3).

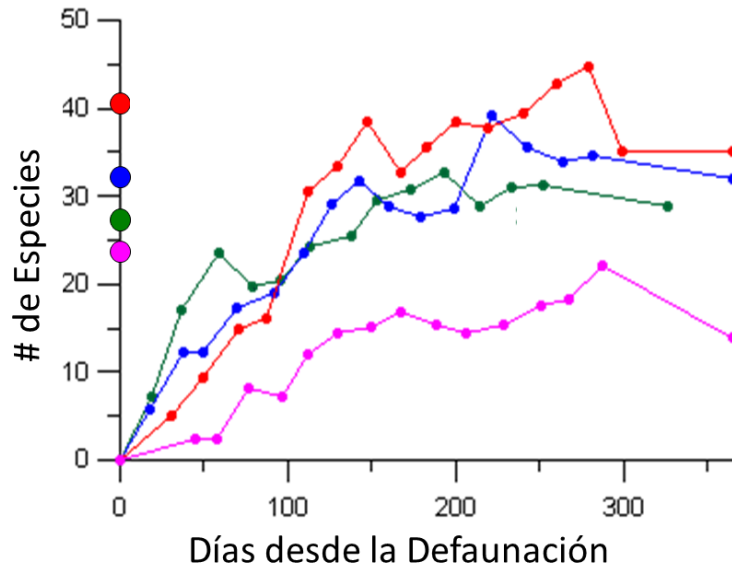


Figura 3. Resultados del experimento de defaunación realizado en islas de Manglares (foto) en Florida. Esta investigación mostró un rápido aumento en la riqueza y un número de especies de estabilización muy cercano al original. En el gráfico la isla más pequeña y aislada es la que presenta la menor diversidad (Fuente: Elaboración propia a partir de Simberloff y Wilson (1969) y foto de <https://commons.wikimedia.org/wiki/>).

La investigación en ecología durante los 50 años siguientes ha profundizado en estas dos ideas, las cuales muchas veces se reconocieron como visiones contrapuestas del “orden” natural (nulistas vs. interaccionistas), las cuales generaron acaloradas controversias (vea Núñez y Núñez 2006 para más detalles). Estas visiones se resumen en: 1) la diversidad de especies en un sitio es el resultado de la energía o recursos disponibles, las interacciones que existen entre las especies y sus propiedades energéticas (e.g. tamaño corporal y tasa metabólica) (Brown, 1981, 2004); 2) la diversidad de especies en un sitio está relacionada con la distribución espacial de las fuentes de colonizadores potenciales, las tasas de natalidad y mortalidad y la probabilidad de extinción (Hubbell, 1979, 2001).

James H. Brown (1941-), siguiendo la línea de sus primeros maestros (Hutchinson, MacArthur y otros), ha propuesto, junto a nuevos investigadores formados por él, la “Teoría metabólica de la ecología” la cual predice cómo la tasa metabólica propia de cada especie controla los procesos ecológicos en todos los niveles de organización, desde los individuos a la biósfera, al influir las tasas de absorción de recursos del medio ambiente y la asignación

de ellos para la supervivencia, el crecimiento y la reproducción. Por su parte, Stephen P. Hubbell (1942 -) y otros colaboradores, siguiendo una línea más bien de modelos neutros (e.g. Wilson, Simberloff), han propuesto; la “Teoría neutral de la biodiversidad y la biogeografía” en la cual, bajo el supuesto de que las especies son ecológicamente similares en una comunidad, ellas pueden tratarse como equivalentes en tasas de natalidad y muerte, en tasas de dispersión e incluso en la probabilidad de especiarse. La teoría neutral predice tanto las relaciones de abundancia de las especies, como las dinámicas para el ensamblaje de comunidades en tiempo ecológico y para la filogeografía en tiempo evolutivo. En la Figura 4 se muestra un esquema de las dos propuestas teóricas que se han desarrollado por más de un siglo. En los últimos 20 años, los ecólogos de comunidades, biogeógrafos y macroecólogos, han discutido (a veces ácidamente), sobre cuál de las teorías es la que explica mejor la diversidad de especies. Muchos atacaron a S. Hubbell por proponer que la naturaleza era el resultado del simple azar, mientras que otros agradecieron el que se dispusiera de una teoría que contrarrestara la hegemonía del nicho y la energía por tanto tiempo. No obstante, muchas voces también han propuesto buscar (¿o crear?) una teoría que incluya ambas miradas: “no es el nicho o las dinámicas nuestros, ambas cosas están ocurriendo. Lo importante es determinar la importancia relativa de cada una” (Gewin, 2006).

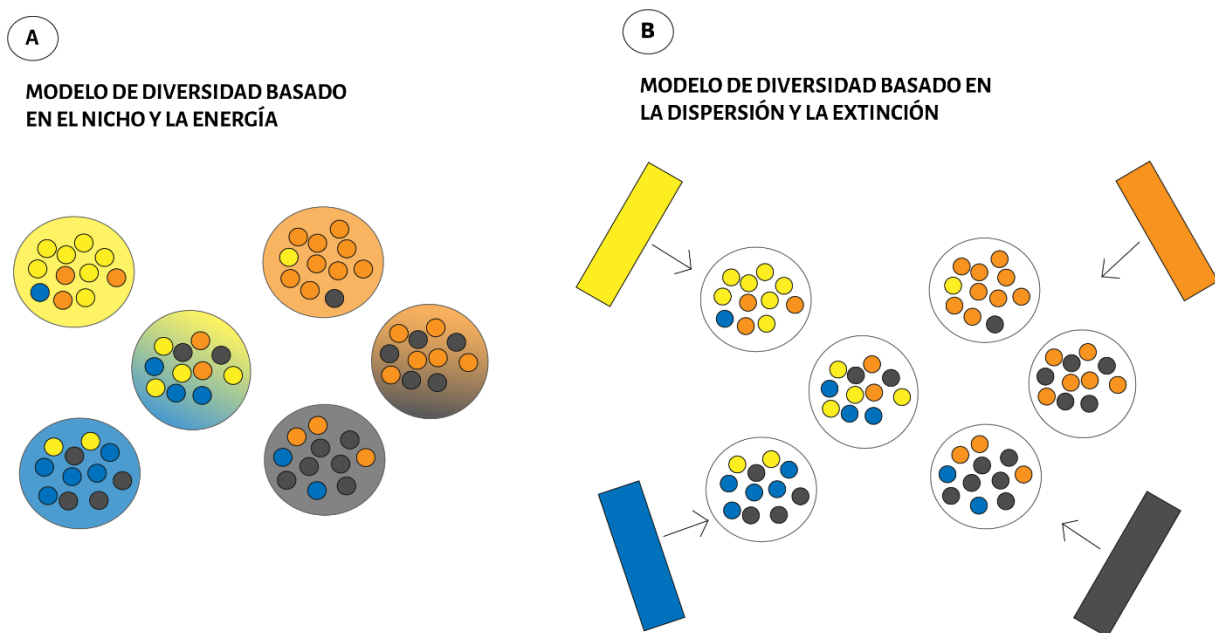


Figura 4. Esquemas de los dos modelos conceptuales que resumen cada teoría de diversidad. En A se muestra como cada sitio (6 esferas) están formadas por diferentes especies (puntos de colores) cuya abundancia se relacionan con la energía y los recursos de cada sitio (similitud de color). En B se muestran como cada sitio está formado por una colección de especies cuya frecuencia depende de la cercanía a una fuente (rectángulos de colores) de colonización (fleche) (Fuente: Elaboración propia a partir de Whitfield (2002)).

Una historia similar de trabajo colaborativo y también de controversias es la que se puede reconocer en cuanto a la generación del conocimiento sobre la importancia o el efecto de la biodiversidad en el funcionamiento de los ecosistemas (Naeem et al., 2002). A un primer paradigma en que la identidad de las especies parecía ser irrelevante y el efecto de la

diversidad sobre el ecosistema prácticamente inexistente, se pasó a reconocer que la biodiversidad de un lugar afecta directamente el desempeño del ecosistema, tanto en su productividad primaria, ciclo de nutrientes y otros procesos, como en su estabilidad y resiliencia a perturbaciones. De esta forma, durante los últimos 30 años, se ha originado un sólido conocimiento ecológico sobre las consecuencias de la pérdida de especies (Cardinale et al., 2012). La Figura 5 resume estos casi 30 años de la investigación de científicos como David Tilman y Shahid Naeem, o investigadoras como Diane Srivastava.

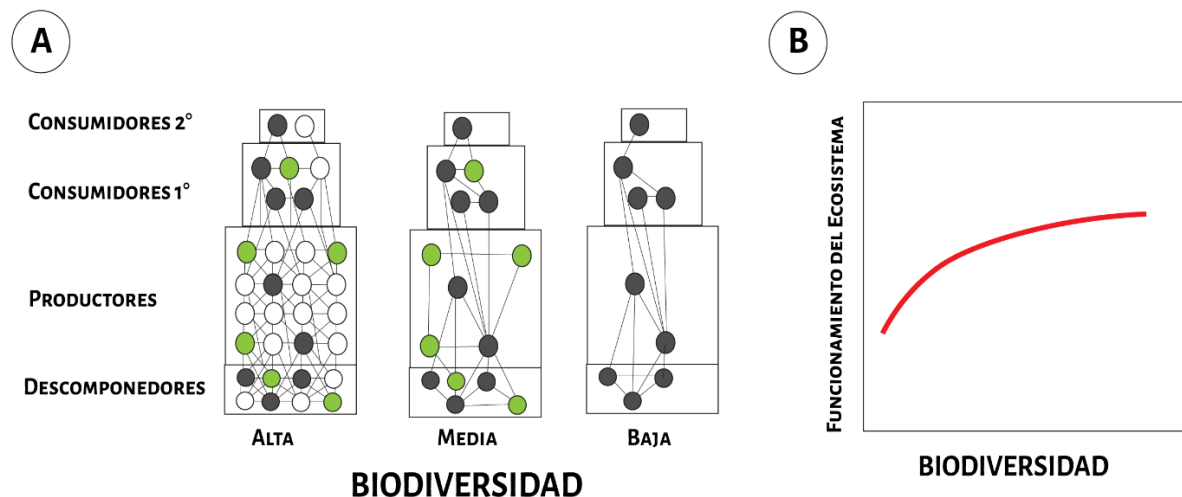


Figura 5. A: Esquema de las comunidades generadas experimentalmente como micro-ecosistemas terrestres (Ecotron). Los círculos representan las especies y las líneas sus interacciones. El estudio fue uno de los primeros datos empíricos en que al disminuir experimentalmente la biodiversidad se encontró una disminución de la productividad y la capacidad de soportar las perturbaciones externas. B: Diagrama conceptual que resume lo que se sabe sobre la forma de la relación biodiversidad-funcionamiento del ecosistema basado en cientos de experimentos. La línea roja muestra el cambio promedio en todas las combinaciones de genes, especies o rasgos. (Fuente: Elaboración propia a partir de Naeem et al., 1994 y Cardinale et al., 2012 respectivamente).

Biodiversidad en el territorio nacional

Nuestro conocimiento y desconocimiento

Contrario a lo que se puede pensar, en Chile no tenemos un catastro completo de nuestra biodiversidad. Hay grupos completos de organismos de los que sabemos poco, o casi nada. Aunque, incluso dentro de la academia, se considere la taxonomía y los estudios de biodiversidad como algo decimonónico, a diferencia de los países desarrollados, en Chile no tenemos un conocimiento profundo de nuestra historia natural. Hay algunos grupos bastante estudiados como las aves (e.g. Vilina y Cofré 2018ab) y mamíferos (Cofré et al., 2018) o las plantas vasculares (Teillier 2018; Rodríguez et al., 2018). Sin embargo, grupos de plantas como los líquenes, briófitos (musgos, hepáticas y antocerotes), de microalgas, hongos y de animales invertebrados como tardígrados y rotíferos, están menos estudiados, especialmente en algunas zonas del país. Más aún, para algunos de ellos no existen especialistas en Chile que puedan identificar las especies. Debe destacarse, sin embargo, que ha habido grandes avances en la última década (por ej. Sielfeld et al., 2018ab y Valdovinos 2018 para una

primera sistematización del conocimiento de algunos grupos de invertebrados chilenos), pero usualmente son esfuerzos individuales y no un plan sistemático a nivel país. Así, todos los años se describen especies nuevas para Chile de, por ejemplo, líquenes y briófitos (i.e. Larrain et al., 2011, 2017; Vargas-Castillo et al., 2017). Más aún, no solo se descubren especies de grupos poco vistosos y/o poco conocidos, también de plantas tan conspicuas como las orquídeas (Bravo-Monasterio et al., 2014) o animales como los mamíferos (Spotorno et al., 2013). Una de las posibles causas de esta falta de conocimiento es el bajo o nulo financiamiento a estudios de este tipo. De hecho, por bases, FONDECYT, una de las principales fuentes de financiamiento de la ciencia en Chile, no financia estudios de diversidad, *checklist* de especies, ni catálogos y mucha de la investigación de este tipo en Chile la hacen extranjeros o chilenos financiados por proyectos internacionales.

A pesar de lo anterior, se puede decir que al menos se ha descrito la variación de la diversidad en cuanto a los grupos más conocidos en gran parte del territorio nacional. Por ejemplo, podemos decir que existen ciertos biomas los cuales presentan grandes concentraciones de especies tanto animales como vegetales, cuya diversidad se explica tanto por factores históricos (por ejemplo, el altiplano ha sido un centro de diversidad para muchos taxa), como ecológicos (por ejemplo, la zona entre los 35° y 40° de latitud presenta las mejores condiciones ambientales tanto de temperatura, precipitaciones y productividad).

Dada su larga extensión (aproximadamente entre los 18° y los 55° de latitud) y su gran diferencia en altitud (desde el nivel del mar hasta sobre los 4000 metros) Chile parece ser un lugar ideal para describir los patrones de biodiversidad y para poner a prueba las explicaciones asociadas a ellos descritas en la sección anterior. Dada sus particulares características geográficas, históricas y biológicas, en Chile no se encuentra el patrón de disminución de la diversidad hacia mayores latitudes, ya que, en realidad, para la mayoría de los taxa (tricópteros, mariposas, mamíferos terrestres, aves terrestres, anfibios, reptiles, y plantas vasculares), encontramos al menos un máximo de diversidad muy lejos de nuestro límite norte. La Figura 6, muestra el patrón jorobado de la diversidad de especies de aves de bosque y su relación con la productividad de los ecosistemas boscosos. Solo las plantas no vasculares y algunos grupos de invertebrados marinos son más diversos en las aguas (Valdovinos et al., 2003) y tierras australes (Rozzi et al., 2008). Esta observación tan básica, aún no está descrita para todas nuestras taxa y tiene serias implicancias para conservación de la biodiversidad, puesto que las zonas más diversas, muchas veces coinciden con aquellas más pobladas.

Amenazas y preservación

Chile es un país con una biodiversidad relativamente baja con relación a países tropicales como Colombia o Ecuador. Sin embargo, nuestro país posee un alto número de especies endémicas, es decir, únicas de Chile (Moreira-Muñoz 2011; Núñez et al., 2018; Correa y Mendez 2018). Para muchos grupos de organismos, la mayor biodiversidad se concentra en la zona central, donde existe una mayor presión antrópica y gran densidad poblacional. De hecho, esta zona se incluye dentro de la lista de los 25 hotspot para la conservación de la biodiversidad mundial (Arroyo et al., 2006). Los hotspot o “puntos calientes” de biodiversidad, se definen como regiones donde se concentran, al menos, 1.500 especies de plantas vasculares endémicas, donde existe una alta proporción de vertebrados endémicos, y

en donde el hábitat original ha sido fuertemente impactado por las acciones del hombre (Myers et al., 2000; Arroyo et al., 2006).

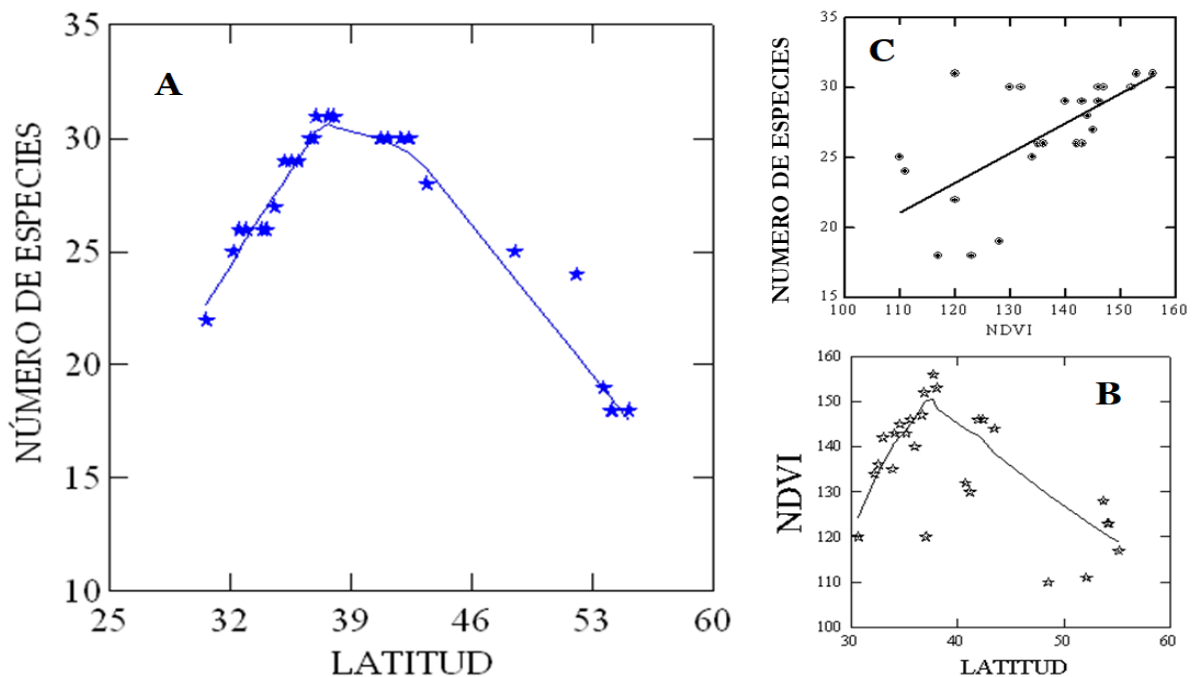


Figura 6. En el gráfico A se muestra el número de especies de aves de bosque presente en muestreos de fragmentos de bosques costeros de al menos 50 ha. El gráfico B muestra los valores de NDVI (una medida indirecta de la productividad del sitio) de acuerdo con fotos satelitales de los mismos sitios. El gráfico C muestra una relación positiva significativa entre la biodiversidad y la productividad o energía disponible en los sitios. (Fuente: Elaboración propia modificado de Cofré 2014).

Al mismo tiempo, la zona central está sujeta a intensa presión de cambio de uso del suelo por la agricultura, desarrollo inmobiliario e industria. Se suma a ello, la presencia de muchas especies invasoras como pinos, eucaliptos y aromos (Becerra 2006) que degradan aún más los espacios naturales. Es decir, entre la Serena y Puerto Montt, la mayor biodiversidad de Chile (ver sección anterior), enfrenta las mayores amenazas descritas en todo el mundo. A esto es lo que llamamos “la crisis de la biodiversidad”. La Figura 7 muestra las cuatro amenazas más grandes a nuestras especies y ecosistemas (Arroyo et al., 2006):

1) Pérdida y fragmentación de hábitat natural (e.g. bosques, matorral costero, humedales)

La fragmentación de hábitats ha sido definida como el proceso por el cual una gran extensión de un hábitat continuo es transformada en un conjunto de fragmentos inmersos en un ambiente distinto al original. La reducción de la superficie de hábitat para las especies implica; un aumento del aislamiento entre las poblaciones que habitan los fragmentos y, por ejemplo, el aumento de muerte por atropello en el caso de los animales nativos (Saavedra et al., 2018); un aumento de la relación perímetro-área, exponiendo a los individuos a cambios fisionómicos y microclimáticos, como también a un mayor contacto con depredadores, parásitos y competidores. Por ejemplo, se ha descrito que algunas especies de aves de bosque con nidos expuestos sufren mayor depredación (e.g. fio-fío) y parasitismo de cría (chincol y

diuca) en los bordes de fragmentos de bosque que dentro de bosques continuos (Wilson et al., 2005). La destrucción y reemplazo de hábitats naturales como bosques y humedales, para el uso de tierras de cultivo o pastoreo, para generar plantaciones forestales de especies invasoras o para la urbanización trae consigo una serie de procesos que liberan a la atmósfera una gran cantidad de gases que promueven el efecto invernadero y el calentamiento global.

2) Introducción y dispersión de especies invasoras o exóticas

Una especie invasora se define como una especie exótica (introducida) naturalizada (es decir que puede reproducirse sin intervención humana) y que provoca daños económicos y/o ecológicos. Son especies que se reproducen rápidamente y/o en grandes cantidades y que pueden propagarse hacia áreas naturales, donde afectan negativamente a la diversidad nativa ya sea porque compiten, depredan o degradan su hábitat. De esto se desprende que no todas las especies introducidas (por ejemplo, especies de plantas ornamentales o de jardín) se hacen invasoras (Fuentes et al., 2014). Es tan importante el efecto de algunas especies invasoras que se ha descrito que son una de las principales razones de las extinciones de especies nativas en islas. Algunos ejemplos clásicos de depredación y herbivoría por especies invasoras en islas son: ratas, perros, gatos, cabras, conejos y cerdos. Además, las especies invasoras pueden modificar el paisaje, las tramas tróficas y el funcionamiento del ecosistema completo, como es el caso de los castores (*Castor canadense*), quienes desde los años 50 habitan en el extremo austral de Chile. La superficie de bosque afectada en Chile ya hace 20 años, alcanzaba a las 23.500 hectáreas (Wallem y Pauchard, 2018). Otro invasor que podría estar produciendo un gran impacto en el ecosistema del sur, por su calidad de depredador tope, es el visón (*Neovison vison*). Esta especie, que se alimenta de especies nativas y compete con mustélidos nativos como el huillín. Se ha reportado que depreda sobre el pato vapor no volador, pato juarjual, caiquén, caranca, carpintero y el cisne de cuello negro (Wallem y Pauchard 2018). Otros ejemplos devastadores son el jabalí depredando sobre el monito del monte y la ranita del Darwin, el *Pinus radiata* ahogando el mosque maulino, o el *Ulex europaeus* que coloniza áreas agrícolas y forestales en Chiloé.

3) La comercialización de la flora y fauna

La comercialización y sobreexplotación de la flora y fauna nativa es un problema grave en todo el mundo y en Chile afecta a diferentes tipos de organismos: cactus, flores, lagartos, loros, y mamíferos, entre otros grupos. Algunos ejemplos históricos son el lobo fino de Juan Fernández (*Arctocephalus philippii*), especie endémica del archipiélago, casi extinta a finales del siglo XIX, o la chinchilla, especie en la que se calcula que cerca de 21 millones de individuos se mataron durante el siglo XIX. Desde 1929 en Chile está prohibida la caza y comercialización de la chinchilla. Más recientemente, de todas formas, se ha descrito la declinación de poblaciones de lagartos y cactáceas por la extracción clandestina. Un ejemplo de ello es el cactus *Copiapoa cinerea* el cual ha sido incluido en el apéndice II de CITES (por el inglés, Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) y catalogada como una especie vulnerable amenazada por esta razón (Guerrero et al., 2010). Especies de crecimiento lento, como la palma chilena y el chagual, también son explotadas ilegalmente y de forma no sustentable. La primera por extracción de los coquitos desde áreas naturales y la segunda para comercialización y consumo.

4) Contaminación por productos industriales

La flora y fauna que habitan en el borde costero, ríos, lagos y terrenos son afectados por el vertido de desechos de diferente naturaleza, donde destacan los metales pesados y el petróleo. La industria del petróleo, por ejemplo, cada cierto tiempo amenaza con los derrames de crudo, causados principalmente por accidentes en los barcos transportadores. Se ha calculado que cerca de 6 millones de toneladas de petróleo se depositan en el océano anualmente. Otros elementos son los RILES, desechos de la industria de la celulosa que se derraman a los afluentes cercanos a las plantas y que más de alguna vez han causado severos daños a la fauna, como el ocurrido en el 2004 en el Santuario del río cruces, en Valdivia. Otros focos de contaminación son: los relaves de la industria minera que depositan metales pesados, el exceso de desechos orgánicos que presentan antibióticos, por parte de la industria salmonera y los pesticidas utilizados en la agricultura.

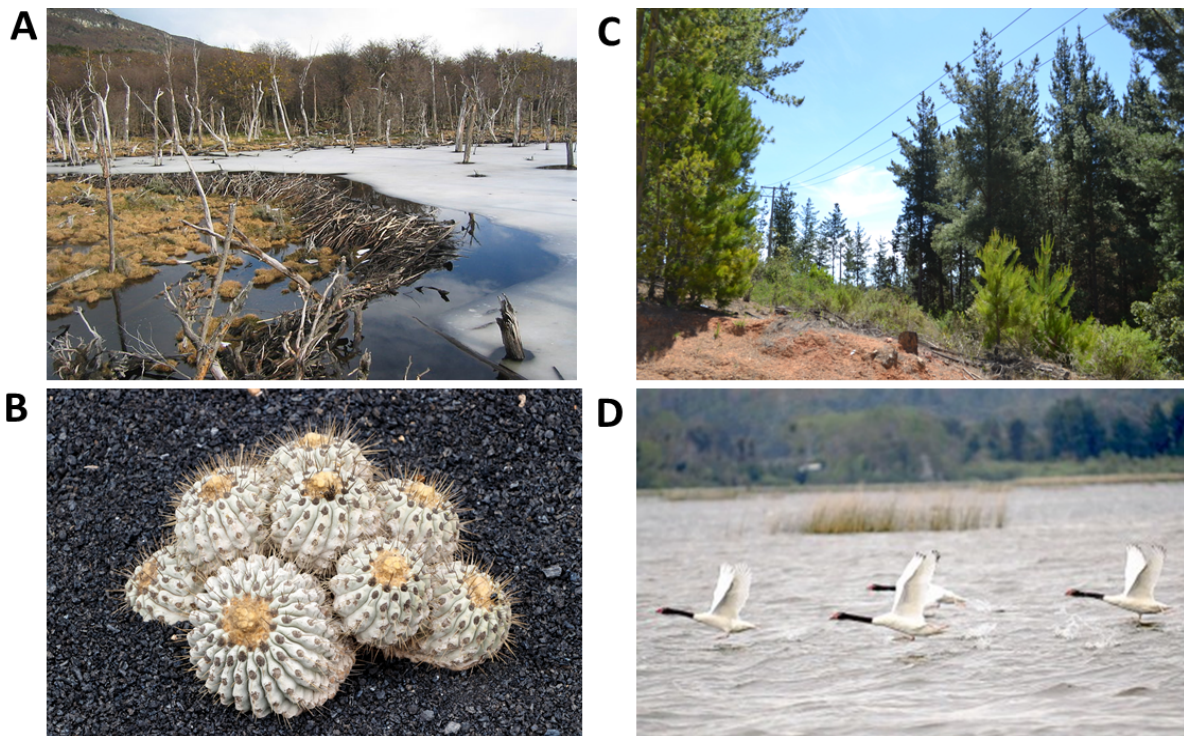


Figura 7. Principales amenazas globales de la biodiversidad y su ejemplo en Chile. En A se muestra una presa construida por castores en Tierra del Fuego, lo cual inunda sectores de bosque austral. En B se muestra un ejemplar de *Copiaoa*, uno de los cactus más comercializadas ilegalmente en Chile. En C se muestra un borde de plantación de pino radiata las cuales promueven la fragmentación del hábitat. En D se muestran ejemplares de cisnes de cuello negro en Valdivia, especie que en el 2004 sufrió una disminución notable de su población producto de la contaminación de una planta de celulosa la cual limito el alimento de dicha especie (Fuente: Elaboración propia en base a fotos del segundo autor y de libre disposición: <https://commons.wikimedia.org/wiki>).

Por otra parte, Chile cuenta con áreas protegidas, reunidas en el SNASPE (Servicio Nacional de Áreas Protegidas del Estado) que alcanzan a algo más del 18% del territorio nacional (Pauchard y Villarroel 2002). A pesar de que la extensión total de áreas protegidas no es despreciable, la mayor parte se concentra en lugares del extremo austral del país, donde no se concentra la biodiversidad. En la zona de mayor diversidad del país, la zona Mediterránea

de Chile central, menos del 1% del territorio se encuentra en algunas de estas áreas, incumpliendo Chile tratados internacionales sobre conservación. Esto es debido, principalmente, a dos factores; la presión económica (mayor valor del suelo), y a factores históricos. Muchas de las áreas protegidas se crearon por donaciones (por ejemplo) y no por un plan intencional de conservar ecosistemas específicos, no considerando zonas de alta biodiversidad para algunas especies (Pauchard y Villarroel 2002). De hecho, las actuales áreas SNASPE alcanzan a proteger solo la mitad de las especies para algunos tipos de plantas, como los emblemáticos *Nothofagus* (Alarcón y Cavieres 2015), y para muchos grupos de organismos, esto ni siquiera se ha evaluado. Sumado a lo anterior, la zona central se ha visto amenazada por grandes incendios, afectando severamente la biodiversidad nativa y favoreciendo aún más las especies introducidas. Esto ha llevado a algunas especies al borde la extinción por acción directa y/o indirecta de las personas (e.g. Atala et al., 2017). Sin una acción intencional y urgente, esto solo empeorará en el futuro cercano debido al cambio climático global (IPCC 2016), que impactará muy fuerte, en particular la zona central de Chile, con un aumento de la temperatura y una disminución de las precipitaciones de hasta un 40% (IPCC 2016).

Biodiversidad y Educación Científica

Para lograr la alfabetización ecológica se han reconocido algunos aspectos claves, tales como: 1) El desarrollar un pensamiento sistémico; 2) Comprender la conectividad, dinámicas e interacciones de las especies, 3) Entender el flujo de energía, funcionamiento y dinámicas de los ecosistemas, 4) Comprender la conexión entre patrones y procesos a diferentes escalas, 5) Conocer la historia natural de las especies, 6) Comprender que la Ecología es una disciplina científica con un componente histórico y con diversidad de métodos para estudiar la naturaleza, y 7) Incorporar el contexto de temas socio-ambientales y la argumentación en la enseñanza de la Ecología (Puig et al., 2012; Osborne et al., 2017; Korfiatis, 2018). Varios de estos aspectos claves tienen que ver con la comprensión del concepto de biodiversidad. Como dicen Bermudez y Lia de Longhi (2008), antes de hablar de la pérdida de la biodiversidad es necesario saber qué es, qué niveles de organización están abarcados, cómo podemos medirla, cuáles son las dificultades y limitaciones para hacerlo, cuál es la epistemología del concepto, cómo ha cambiado su definición a lo largo del tiempo y cuáles son los valores, aspectos éticos, morales, económicos, y socioculturales implicados para discutir por qué evitar su pérdida.

En relación con lo anterior, quisiéramos dar algunas recomendaciones que podrían ayudar al docente a enseñar este concepto y al estudiante a comprenderlo en toda su magnitud:

1) Conocer la historia natural de las especies

Nuestra experiencia como naturalistas, formadores de estudiantes de pedagogía y profesores en servicio, así como de divulgadores de la biodiversidad, nos permite decir que en general existe poco conocimiento de nuestra biodiversidad en educación. Esta falta de conocimiento puede estar asociada a pocos cursos de fauna y flora en la formación inicial, la poca importancia que se da al conocimiento de la fauna y flora silvestre en el currículum nacional o simplemente porque es muy difícil manejar un conocimiento adecuado de gran parte de la

diversidad. Es más que evidente que para un profesores o profesora de biología puede ser prácticamente imposible conocer tanto la flora y la fauna de alguna zona del país si ni siquiera los científicos pueden ser expertos en ambas ramas. Es más, generalmente los zoólogos, taxónomos, botánicos o ecólogos son expertos en un taxón particular (e.g. musgos, mamíferos o dípteros). Por lo tanto, pedirle a un docente que pueda manejar ese conocimiento, aunque sea a nivel escolar, es bastante difícil. Por otra parte, los medios, y especialmente los textos escolares, generalmente son de poca ayuda ya que presentan un tratamiento descontextualizado de la flora y fauna (Celis et al., 2016). Estos autores mostraron que, al analizar 12 libros de texto del año 2015 desde primero a cuarto año medio, el 67,9% (165 de 243) de los animales representados y el 72,7% (64 de 88) de las plantas presentes eran exóticas. Por lo tanto, pensamos que se deben incentivar y generar más oportunidades de aprendizaje de la flora y fauna nativa en la formación de profesores. También proponemos que el currículum, a través de los textos escolares, puedan acercarse al 100% de representación de flora y fauna nativa en sus páginas. Nuestro aporte a mejorar este conocimiento lo realizamos aquí a través de una colección inicial de literatura que puede ser de ayuda para que los y las docentes obtengan información sobre nuestra biodiversidad y las amenazas que enfrenta (Tabla 3).

2) Incorporar el contexto de temas socio-ambientales

Existe evidencia que una de las cosas más importantes para el aprendizaje es la motivación, sobre todo en jóvenes de la edad en la cual se revisa el concepto de biodiversidad (14-15 años). Por lo tanto, se sugiere que la enseñanza de las ciencias en esta etapa esté contextualizada y sea cercana a sus vidas. Una forma de acercar la biodiversidad y sus amenazas a los estudiantes es tratar con ellos temas socio-ambientales regionales y visitar ambientes propios de su territorio. En la Tabla 4, damos algunos ejemplos de conflictos socioambientales descritos en la literatura (Fuenzalida y Quiroz 2012) y de lugares (principalmente fuera del SNASPE) que se pueden visitar. Una buena alternativa también es visitar museos de historia natural en las regiones que existan.

3) Comprender la naturaleza del conocimiento ecológico

Finalmente, pensamos que comprender cómo se ha ido forjando el conocimiento sobre la biodiversidad, sus datos, patrones, ideas, hipótesis y teorías nos lleva a comprender mejor su naturaleza y las relaciones entre lo teórico y su aplicación. Por ejemplo, el comprender que durante años hubo controversia sobre el real efecto de la biodiversidad sobre el funcionamiento del ecosistema, hasta que en la última década la cantidad de evidencia empírica que se ha generado permite establecerlo como una certeza científica, ayuda a que los estudiantes puedan utilizar, no solo argumentos éticos o morales, en favor del cuidado de la biodiversidad, sino también científicos. Una buena actividad para explicar cómo se ha generado el conocimiento sobre la biodiversidad es realizar un mapa conceptual con los ecólogos y ecólogas nombrados en este artículo y reconocer las conexiones entre ellos y su trabajo científico.

Tabla 3. Información sobre literatura virtual y física donde se puede encontrar información sobre la biodiversidad de Chile y sus amenazas (Fuente: Elaboración propia de los autores y el aporte de C. Garín).

Tema	Tipo de Información	Cita /sitio
Plantas vasculares	Catálogo de las plantas vasculares de Chile	Rodríguez R et al. (2018)
Plantas nativas	Fichas de especies con fotografías	www.chilebosque.cl
Orquídeas	Guía de Campo	Novoa, P., Espejo, J., Alarcón, D., Cisternas, M., & Domínguez, E. (2015).
Helechos	Guía de Campo	Rodríguez, R., D. Alarcón & J. Espejo. (2009).
Plantas trepadoras, epífitas y parásitas	Guía de Campo	Marticorena, A., D. Alarcón, L. Abello y C. Atala. (2010).
Plantas y vegetación	Revista chilena de flora y vegetación	http://www.chlorischile.cl/
Briófitos	Información de historia natural de musgos	www.musgosdechile.cl
Líquenes	Lista de especies de Chile	Quilhot. W. (1995).
Algas marinas	Distribución, ecología, utilización, diversidad. Algas marinas de Chile:	Santelices B. (1989). Ediciones Universidad Católica de Chile
Macrohongos	Guía de campo de Hongos de Chile	Furgi G. (2018). Vol. II
Macrohongos	Hongos de Chile: Atlas micológico	Lazo W. (2016). Salesianos Impresores S.A.
Aves de Chile	Distribución e historia natural	Martínez, D., & G., González (2017)
Ecología e historia natural de Aves	Revista Chilena de Ornitología	https://aveschile.cl/revista-ro/
Información taxonómica y de historia natural de la biodiversidad de Chile	Boletín Chileno de Biodiversidad	http://www.bbchile.com/ediciones-publicadas/
Biodiversidad de herpetofauna	Boletín Chileno de Herpetología	http://www.boletindeherpetologia.com/
Historia natural de Chile	Boletín del Museo Nacional de Historia Natural (Chile)	http://publicaciones.mnhn.gob.cl/
Biodiversidad de Peces marinos	Libro de peces del sur de Chile	Reyes, P & M Hüne (2012)
Biodiversidad de Peces de agua dulce	Libro de peces de agua dulce	Ruiz V & M Marchant (2004)
Biodiversidad de Insectos	Guía de Tenebrionidos de Chile	Vidal P & M Guerrero (2007)
Biodiversidad de Insectos	Guía de Buprestidos de Chile	Moore T & P Vidal (2015)
Biodiversidad de Insectos	Guía de Coleópteros de la Campana	Sáiz, F., J., Solervicens A., P. Ojeda G., (2013).
Biodiversidad de diferentes zonas de Chile	Libros online sobre biodiversidad	https://www.corma.cl/biblioteca-digital/
Biodiversidad de diferentes zonas de Chile	Libros online sobre biodiversidad	http://fundacionphilippi.cl/libros/
Ecología, biología y amenazas de la biodiversidad	Revista de la Conaf sobre biodiversidad	https://www.conaf.cl/parques-nacionales/investigacion-cientifica/biodiversidata/
Estado del conocimiento de la Biodiversidad de Chile	Biodiversidad de Chile: patrimonio y desafíos. 3a edición	http://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/123456789/26857
Estado de conservación de las especies	Fichas por especie	http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCjudadana/Default.aspx

Conclusión

En este artículo quisimos revisar la historia del conocimiento científico sobre la biodiversidad, con el objetivo de que el lector pueda comprender de mejor forma cuáles son las bases científicas que avalan la preocupación que debe tener la sociedad por esta importante propiedad de los ecosistemas naturales. Esperamos que este relato pueda incentivar a las y los docentes a buscar patrones y explicaciones sobre la biodiversidad local en sus regiones y comunas. Ojalá, sirva para motivar la curiosidad de los estudiantes y docentes sobre la flora y la fauna que nos rodea y la evaluación crítica de las amenazas a las que se enfrentan nuestros ecosistemas locales producto del modelo económico extractivista que predomina en nuestro continente. No podemos proteger lo que no amamos y no podemos amar lo que no conocemos.

Tabla 4. Ejemplos de entrada. (Fuente: Elaboración de los autores a partir de Fuenzalida y Quiroz (2012) [Conflictos ambientales] y los aportes personales de C. Garín y los autores [Sector de Biodiversidad]).

Región	Conflicto ambiental / sector de avistamiento y estudio de biodiversidad
Arica-	Proyecto Catanave, exploración en Reserva Nacional Las Vicuñas (Putre).
Parinacota	<i>Bosques de Queñoa donde observar aves, mamíferos, flora vascular (laderas en el camino entre Chapiquiña y Belén)</i> <i>Humedal de la desembocadura del río Lluta (Arica)</i>
Tarapacá	Extracción de agua por Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi (Pica) <i>Desembocadura del río Loa</i>
Antofagasta	Contaminación del Río Loa (María Elena). <i>Formación vegetal desierto costero (Reserva Nacional la Chimba)</i>
Atacama	Proyecto minero Pascua-Lama y proyecto minero El Morro, ambos apropiación de cuerpos de Agua (Tierra Amarilla). <i>Humedal altiplánico sitio Ramsar de la Laguna del Negro Francisco y Laguna Santa Rosa donde se puede observar la fauna típica del Altiplano</i> <i>Formación vegetal desierto costero (P. N. Llanos de Challe)</i>
Coquimbo	Terminal marítimo de carga de concentrado de cobre (Minera Los Pelambres) (Los Vilos). <i>Bosque relicto del cerro Santa Inés donde se observan aves, insectos y flora vascular (frente a Pichidangui)</i> <i>Bosque relicto y ecosistema semi-árido en Parque Nacional Fray Jorge</i>
Valparaíso	Vertidos al estuario del río Aconcagua por refinería de petróleo (Concón). Conflictos con inmobiliarias en sitios de alto interés de conservación en Los Molles, Laguna Verde, Concón y Punta Quirilluca Conflicto en Reserva Nacional Lago Peñuelas con vecinos que ingresan ganado de forma ilegal y extraen especies nativas para venta y consumo (chaguales) <i>Plantas, insectos y reptiles nativos en sistema de dunas en Concón</i> <i>Plantas, algas, líquenes nativos y cururos en Punta Curaumilla (Laguna Verde)</i> <i>Ecosistema costero en Los Molles (Bioparque El Puquén)</i> <i>Flora de altamontaña en parque andino El Juncal</i> <i>Bosque relicto quebrada del tigre donde se observan aves, insectos y flora vascular (frente a Cachagua)</i>
Metropolitana	Proyecto hidroeléctrico Alto Maipo. <i>Bosque de Altos de Cantillana donde se observan aves, lagartos y flora vascular</i>
O'Higgins	Central hidroeléctrica Chacayes y Expansión del mineral El Teniente (Machalí). Conflicto en Reserva Nacional Río de los Cipreses con vecinos que ingresan ganado <i>Bosque esclerófilo y maulino donde se observan aves, reptiles y flora vascular, (Cerro Rucatalca, Nancagua)</i>
Maule	Conflicto con compañía forestal y contaminación planta celulosa (Licantén y Constitución) <i>Bosque Maulino donde se observan aves, mamíferos, insectos y flora vascular, (Fundos Privados aledaños al poblado de Curepto)</i>
Ñuble	Ducto al mar de la Planta de Celulosa CELCO (Cobquecura)/Conflicto con compañía forestal

	<i>Bosque siempreverde de Olivillo donde se observan aves, insectos, anfibios y flora vascular (Cerro Cayumanque)</i>
Bío-Bío	Contaminación industrial de ríos (varias comunas) Reemplazo de bosque nativo por plantaciones forestales con incentivo estatal <i>Bosque de ciprés de cordillera y vegetación de altura en Parque Nacional Laguna del Laja</i> <i>Bosque siempre verde de Nothofagus donde se observan aves, insectos, anfibios y flora vascular (Reserva Nacional Nonguén)</i>
Araucanía	Vertederos en territorio Mapuche y Plantaciones forestales (varias comunas). Tala ilegal de árboles nativos para leña Extracción de especies nativas de áreas protegidas para venta (ej: copihue, chupones) <i>Bosque de Araucarias en Parque Nacional Nauelbuta donde se puede observar una gran diversidad de plantas y animales, incluyendo más de 20 especies de orquídeas nativas</i> <i>Bosque siempre verde de Nothofagus donde se observan aves, insectos, anfibios y flora vascular (Monumento Natural Contulmo)</i>
Los Ríos	Contaminación por planta celulosa CELCO (varias comunas) Tala ilegal de árboles nativos para leña Extracción de especies nativas de áreas protegidas para venta (ej: copihue, chupones) <i>Bosque Valdiviano donde se observan aves, anfibios y flora nativa (Santuario de la Naturaleza Carlos Andwanger)</i>
Los Lagos	Tala ilegal de Alerce (Quellón) Salmonicultura en exceso (varias comunas) Tala ilegal de árboles nativos para leña Extracción de especies nativas de áreas protegidas para venta (ej: copihue, chupones) <i>Bosque Valdiviano donde se observan aves, anfibios y flora nativa (Estación Biológica Senda Darwin)</i>
Aysén	Erosión por incendios forestales y pastoreo intensivo (Coyhaique) Caza ilegal de aves y mamíferos nativos <i>Bosque caducifolio (lenga, ñirre) y fana nativa (pumas, aves, etc.) en Reserva Nacional Coyhaique</i> <i>Avistamiento de huemules en Reserva Nacional Cerro Castillo</i>
Magallanes	Mina Invierno en Isla Riesco (Río verde). <i>Bosque caducifolio de lenga, coigüe de Magallanes y ñirre en Reserva Nacional Magallanes</i>

Agradecimientos

A Carlos Garín por sus aportes invaluableles al manuscrito.

Bibliografía

- Alarcón D, Cavieres LA. (2015). In the Right Place at the Right Time: Habitat Representation in Protected Areas of South American Nothofagus Dominated Plants after a Dispersal Constrained Climate Change Scenario. *PLoS ONE*, 10(3), e0119952. doi:10.1371/journal.pone.0119952
- Arroyo MTK, Marquet P, Marticorena C, Simonetti JA, Cavieres L, Squeo FA, Rozzi R., F Massardo. (2006). El Hotspot chileno, prioridad mundial para la conservación. En: Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Saball P, et al., (eds). Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago de Chile.
- Arrenius, O. (1921). Species and area. *Journal of Ecology*, 9, 95–99.
- Atala C, Muñoz-Tapia L, Pereira G, Romero C, Vargas R, Acuña-Rodríguez IS, Molina-Montenegro MA, Brito E. (2017). The effect of future climate change on the conservation of *Chloraea disoides* Lindl. (Orchidaceae) in Chile. *Brazilian Journal of Botany* 40(1), 353-360.
- Becerra PI. (2006). Invasión de árboles alóctonos en una cuenca pre-andina de Chile central. *Gayana Botanica* 63, 161-174.
- Bermúdez, G., De Longhi, A. L. (2008). La educación ambiental y la ecología como ciencia: Una discusión necesaria para la enseñanza. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7, 275-297.
- Bermúdez, G., de Longhi, A.L., Díaz, S., Gavidia-Catalán, V. (2014). La transposición del concepto de diversidad biológica: Un estudio sobre los libros de texto de la educación secundaria

- española. *Enseñanza de las Ciencias* 32(3), 285-302.
- Bravo-Monasterio P. (2014). Una nueva especie del género *Bipinnula* (Orchidaceae) para Chile. *Gayana Botánica*. 71(1), 131-139
- Brown, J.H. (1981) Two decades of homage to Santa Rosalia: toward a general theory of diversity. *American Zoologist*, 21, 877–888.
- Brown, J.H. (2004) Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, 85(7), 1771–1789
- Byngn JW et al. (2016). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1), 1–20
- Cardinale, B.J. et al. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486, 59–67.
- Cavalier-Smith, T. (1981). Eukaryote kingdoms: seven or nine? *Bio Systems*, 14 (3–4), 461–481
- Celis, J.L., Díaz, J., Márquez, M., Lazzarino, S., Rozzi, R., Armesto, J.J. (2016). Biodiversity knowledge loss in children's books and textbooks. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(8), 408-410.
- Cofré, H. (2004). Tesis de doctorado. Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.
- CONAF. (2019). Biodiversidata. Recuperado de: <https://www.conaf.cl/parques-nacionales/investigacion-cientifica/biodiversidata/>
- Copeland, H. (1938). "The kingdoms of organisms". *Quarterly Review of Biology*, 13, 383–420.
- Correa, C., M., Mendez (2018). Anfibios. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile.
- Cronquist, A (1981). An integrated system of classification of flowering plants. New York: Columbia University Press.
- Fuentes, N., Sánchez, P., Pauchard, A., Urrutia, J., Cavieres, L., y Marticorena, A. (2014). Plantas Invasoras del Centro-Sur de Chile: Una Guía de Campo. Laboratorio de Invasiones Biológicas (LIB), Concepción, Chile.
- Fuenzalida, M., Quiroz, R. (2012). La dimensión espacial de los conflictos ambientales en Chile. *Polis, Revista Latinoamericana*, 11, 31, 157-168
- Gewin V. (2006). Beyond neutrality—Ecology finds its niche. *PLoS Biology*, 4(8), e278. DOI: 10.1371/journal.pbio.0040278
- Gleason, H.A. (1922). On the relation between species and area. *Ecology*, 3, 158–162.
- Guerrero, P. C., León-Lobos, P., Squeo, F. (2010). Ficha de antecedentes de especie: Copiapoakrainziana. Recuperado de: http://www.mma.gob.cl/clasificacionespecies/fichas6proceso/fichas2010/Copiapoakrainziana_P06R2_RCE.pdf (accessed 05.05.2018).
- Haeckel, E. (1866). *Generelle Morphologie der Organismen*. Reimer, Berlin.
- Hubbell, S. (1979). Tree Dispersion, Abundance, and Diversity in a Tropical Dry Forest. *Science*, 203, 4387, 1299-1309.
- Hubbell, S. (2001). A unified neutral theory of biodiversity and biogeography. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Humboldt, A. (1849) *Aspects of Nature in Different Lands and Different Climates, with Scientific Elucidations*. Translated by M. Sabine. Longman, Brown, Green and Longman, London.
- Hutchinson, E.G. (1959). Homage to Santa Rosalia, or why are there so many kinds of animals? *American Naturalist*, 93,145-159.

- Hutchinson, E. G., R., MacArthur (1959) A theoretical model of size distributions among species of animals. *American Naturalist*, 93,117-125.
- IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change (2016). The Physical Science Basis. www.ipcc.ch
- Korfiatis, K. (2018). Ecology. En Teaching biology in schools: global research, issues, and trends (153-160). New York: Routledge.
- Larraín, J., D. Quandt., J. Muñoz (2011). Bucklandiella araucana (Grimmiaceae), a new species from Chile. *The Bryologist* 114(4), 732-743.
- Larraín J, Fife A., Atala, C. (2017). Lorentziella (Gigaspermaceae, Bryophyta) nuevo para Chile, y lectotipificación del género. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 52(2):351-355
- Linneo, C. (1735). Systemae Naturae, sive regna tria naturae, systematics proposita per classes, ordines, genera & species.
- Linnaeus, C. (1743) On the growth of the habitable earth. Select Dissertations from the Amoenitates Academicae.
- MacArthur, R. H.; E. O. Wilson (1967). The theory of island biogeography. Princeton University Press, Princeton.
- Marticorena, A., D. Alarcón, L. Abello, C. Atala. (2010). Plantas trepadoras, epífitas y parásitas nativas de Chile. Guía de Campo. Corporación Chilena de la Madera, Concepción.
- Martínez, D., G., González (2017) Aves de Chile: Guía de Campo y Breve Historia Natural. Ediciones del Naturalista, Santiago, Chile.
- Magurran, A. E. (1988). Ecological diversity and its measurement. Press, Princeton, NJ
- Mayr, E. (2006). Así es la Biología. Editorial Debate.
- Menzel, S., Bögeholz, S. (2009). The loss of biodiversity as a challenge for sustainable development: how do pupils in Chile and Germany perceive dilemmas? *Research in Science Education* 39, 429-447.
- Mineduc (2016). Programa de Estudio Primero Medio. Unidad de curriculum y evaluación.
- Mora, C., Tittensor, D.P., Adl, S., Simpson, A.G.B., Worm, B. (2011). How many Species are there on Earth and in the Ocean? *PLoS Biology* 9(8), e1001127.
- Moreira-Munoz A. (2011). Plant geography of Chile. En: Plant & Vegetation Series, val. 5. Springer Verlag, Germany, Berlin.
- Moore T., P Vidal (2015) Los Bupréstidos de Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853-858.
- Naeem, S., Thompson, L. J., Lawler, S. P., Lawton, J. H., Woodfin, R. M. (1994). Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems. *Nature* 368, 734–737.
- Naeem, S., (2002). Ecosystem consequences of biodiversity loss: the evolution of a paradigm. *Ecology*, 83(6), 1537–1552
- Novoa, P., Espejo, J., Alarcón, D., Cisternas, M., Domínguez, E. (2015). Guía de campo de las orquídeas chilenas, 2nd ed. Ediciones Corporación Chilena de la Madera.
- Núñez, H., D., Esquerré, C., Garín, D., Pincheira-Donoso (2018). Reptiles. En: Ministerio del Medio Ambiente. 2018. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Tercera Edición. Tomo I, 430 páginas. Santiago de Chile.

- Osborne, J., Donovan, B., Henderson, J., MacPherson, A., Wild, A. (2017). Arguing from evidence in middle school science. 24 activities for productive talk and deeper learning. Corwin. Sage Publications.
- Paine, R. T. (1966). Food Web Complexity and Species Diversity. *The American Naturalist*. 100 (910), 65–75
- Pauchard A., Villarroel, D. (2002). Protected Areas in Chile: History, Current Status, and Challenges. *Natural Areas Journal* 22, 318–330
- Preston, F.W. (1962). The canonical distribution of commonness and rarity: Part I. *Ecology*, 43, 185–215.
- Puig, B.; Bravo, B., Jiménez, M. (2012) Argumentación en el aula: dos unidades didácticas. Science teacher *Education Advanced Methods* (S-TEAM).
- Quilhot, W. (1995). Líquenes. En Simonetti J., Arroyo, A., Spotorno, A., y Lozada, E. (eds.) *Diversidad Biológica de Chile* (pp 26-37). Santiago, Chile.
- Reyes, P., M Hüne (2012). Peces del Sur de Chile. Ocho Libros Editores, Chile.
- Rodríguez, R., D. Alarcón, J. Espejo. (2009). Helechos Nativos del Centro y Sur de Chile. Guía de Campo. Ed. Corporación Chilena de la Madera, Concepción.
- Rodríguez R et al. (2018). Catálogo de las plantas vasculares de Chile. *Gayana Botanica*, 75(1), 1-430.
- Ruggiero, M. A. et al., (2015). A higher-level classification of all living organisms". *PLOS ONE*. 10 (4), e0119248
- Ruiz V., M Marchant (2004) Ictiofauna de Aguas Continentales Chilenas. Universidad de Concepción.
- Saavedra, B., Povea, P., Loutit, C., Chávez-Villavicencio, C. (2018). Atropellos de fauna en la ruta D-705, sector: Illapel-Aucó-Los Pozos (Coquimbo, Chile), incluyendo la Reserva Nacional Las Chinchillas. *Biodiversidad* 6, 20-26.
- Sáiz, F., J., Solervicens A., P. Ojeda G., (2013). Coleópteros del Parque Nacional la Campana y de Chile Central. Ediciones Universitarias de Valparaíso
- Sielfeld, W., et al., (2018a). Invertebrados Terrestres. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile.
- Sielfeld, W., N., Rozbaczylo, RA., Moreno, G., Guzmán (2018b). Invertebrados Marinos. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile.
- Simberloff, D. S., E. O. Wilson. (1969). Experimental zoogeography of islands: The colonization of empty islands. *Ecology* 50, 278-296.
- Teillier, S. (2018). Flora Vascular. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile.
- Valdovinos, C. (2018). Invertebrados dulceacuícolas. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Ministerio del Medio Ambiente. 2018. Santiago de Chile.
- Valdovinos, Navarrete, S.A., Marquet P.A. (2003) Mollusk species diversity in the Southeastern Pacific: why are more species towards the pole? *Ecography* 26, 139–144.
- Vargas-Castillo R, Stanton DE, Nelson PR. (2017). Aportes al conocimiento de la biota líquénica del oasis de neblina de Alto Patache, Desierto de Atacama. *Revista de Geografía Norte Grande* 68, 49-64.
- Vidal P., M Guerrero (2007) Los Tenebriónidos de Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Vilina, Y., H., Cofré (2018a). Aves Terrestres. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile.
- Vilina, Y., H., Cofré (2018b). Aves acuáticas. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile.

- Wallem, P., A., Pauchard, (2018). *Especies exóticas invasoras. Biodiversidad de Chile. Patrimonio y Desafíos. Tercera Edición. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago de Chile.*
- Whittaker RH. (1957). The kingdoms of the living world. *Ecology* 38: 536–538.
- Whittaker RH. (1959). On the broad classification of organisms. *Quarterly Review of Biology* 34: 210–226.
- Whittaker, R. H. (1969). "New concepts of kingdoms of organisms". *Science*. 163 (3863): 150–60
- Whitfield, J. Neutrality versus the niche. (2002). *Nature* 417, 480–481
- Woese, C., & Fox, G. (1977). Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 74 (11): 5088–5090.