

CIENCIA PARA UNA VIDA MEJOR:
DESARROLLANDO PROGRAMAS CIENTÍFICOS REGIONALES
EN ÁREAS PRIORITARIAS PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

V O L U M E N 1



BIODIVERSIDAD EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE:
UNA EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTO, ALCANCES
DE LA INVESTIGACIÓN Y ÁREAS PRIORITARIAS

MARY KALIN T. ARROYO • RODOLFO DIRZO • JUAN CARLOS CASTILLAS
FRANCISCO CEJAS • CARLOS ALFREDO JOLY

CIENCIA PARA UNA VIDA MEJOR:
DESARROLLANDO PROGRAMAS CIENTÍFICOS
REGIONALES EN ÁREAS PRIORITARIAS PARA
AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

V O L U M E N 1

BIODIVERSIDAD
EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE:
UNA EVALUACIÓN DE CONOCIMIENTO,
ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN
Y ÁREAS PRIORITARIAS

Mary Kalin T. Arroyo • Rodolfo Dirzo
Juan Carlos Castillas • Francisco Cejas
Carlos Alfredo Joly

I C S U - L A C • C O N A C Y T

ICSU-LAC. 2010. Ciencia para una vida mejor: desarrollando programas científicos regionales en áreas prioritarias para América Latina y El Caribe. Volumen 1. Kalin T. Arroyo, M., Dirzo, R., Castillas, J.C., Cejas, F., y Joly, C.A. *Biodiversidad en la América Latina y El Caribe: una evaluación del conocimiento, alcances de la investigación y áreas prioritarias*. ICSU-LAC / CONACYT, Río de Janeiro y Ciudad de México, 232 pp.

ISBN 978-0-930357-75-7

Coordinación general: Alice Rangel de Paiva Abreu

Coordinación editorial: Ana Ezcurra

Diseño: Juan Carlos Burgoa

Traducción al español: Ramón Elizondo Mata

Colaboradora: Sandra Frías

Fotografías de portada: Ana Ezcurra, Stijn Bossink, Itamar Aguiar y Aleksandar Milosevic

DR © 2010, Oficina Regional para América Latina y El Caribe

del Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU-LAC)

Rua Anfilóbio de Carvalho, 29 / 1004 Rio de Janeiro, RJ 20030-060, Brasil

www.icsu-lac.org

Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra para fines comerciales

ISBN 978-0-930357-75-7

Impreso en México por Offset Rebosán

PRÓLOGO

El Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU), fundado en 1931, es una organización no gubernamental dedicada a planificar y coordinar investigaciones interdisciplinarias, a fin de enfrentar grandes problemas de relevancia para las ciencias y la sociedad. En años recientes, la amplitud geográfica de las actividades del ICSU ha ido cambiando. El punto focal del ICSU ha ido desplazándose, cada vez más, hacia el aumento de la capacidad científica de los países en vías de desarrollo y la integración de sus científicos a iniciativas de investigación internacional.

La creación de tres Oficinas Regionales del ICSU, ubicadas en África, Asia y el Pacífico, y América Latina y El Caribe, también marca un cambio fundamental en la estructura del ICSU, con un doble objetivo. Primero, aumentar la participación de los científicos y las organizaciones regionales de los países en vías de desarrollo, en los programas y las actividades de la comunidad del ICSU. Segundo, lograr que el ICSU participe de modo más activo en el fortalecimiento de las ciencias, en el contexto de las prioridades regionales, mediante esfuerzos de colaboración científica.

En lo que se refiere especialmente a la región de América Latina y El Caribe, éste es un paso importante en la creación de puentes entre las "islas de competencia" que existen en todos los países y que, en conjunto, podrá impulsar de modo significativo la agenda de investigación científica de la región. El primer paso hacia el establecimiento de una Oficina Regional fue la creación, en 2006, del Comité Regional para América Latina y El Caribe, integrado por renombrados científicos de la región.

La Oficina Regional para América Latina y El Caribe fue la tercera en ser establecida, en abril de 2007. Ésta tiene su sede en la Academia Brasileña de Ciencias, en Río de Janeiro, y es financiada por el Ministerio de Ciencias y Tecnología de Brasil, el ICSU, y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), de México. A partir de octubre de 2010, dicha oficina tendrá su sede en la Academia Mexicana de Ciencias, con el apoyo del CONACYT.

De acuerdo con el Plan Estratégico 2006-2011 del ICSU, el Comité Regional seleccionó cuatro áreas prioritarias para desarrollarlas:

- Enseñanza en las matemáticas;
- Biodiversidad: conocimiento, conservación y uso de la biodiversidad de todos los países de la región de América Latina y El Caribe, a fin de asegurar que la comunidad científica de los países más pequeños de la región se integren plenamente al Programa Internacional de Diversidad Biológica (DIVERSITAS);
- Riesgos y desastres naturales: prevención y mitigación de riesgos, en particular los de origen hidrometeorológico, con atención especial en la investigación necesaria en ciencias sociales;
- Energía sustentable: evaluación de las capacidades existentes en la región de ALC y el impacto social del uso y el desarrollo de nuevos recursos energéticos.

Se crearon cuatro Grupos de Planeación Científica con el objeto de desarrollar propuestas de revisión del estado actual del área prioritaria de la región, y de formular un conjunto de objetivos pormenorizados y áreas de investigación específicas que serán desarrolladas en los próximos años.

Al incluir científicos altamente calificados de ALC, los Grupos de Planeación Científica hicieron un trabajo excelente en un plazo muy limitado. Agradecemos a todos y cada uno de los participantes su entusiasmo y dedicación.

Este documento, que constituye el informe final del Grupo de Planeación Científica en Biodiversidad, se pone a disposición de la comunidad científica con la esperanza de que influya efectivamente en el desarrollo de investigaciones científicas en esta materia durante los años venideros.

Alice Abreu
Directora
Oficina Regional
para América Latina y el Caribe

José Antonio de la Peña
Coordinador
Comité Regional
para América Latina y El Caribe

RESUMEN EJECUTIVO

La biodiversidad, el capital natural del mundo, es el resultado de millones de años de evolución orgánica movida por las presiones selectivas del ambiente. Constituye el elemento vivo del sistema de soporte vital de nuestro planeta y el punto de origen de los muchos servicios ecosistémicos esenciales que la humanidad necesita. La pérdida de la biodiversidad representa un problema tan crítico para la existencia humana, que las ciencias que estudian la diversidad biológica son ampliamente reconocidas como un área prioritaria de la investigación científica, tanto en los países desarrollados como en el mundo en vías de desarrollo.

Las ciencias de la biodiversidad abarcan una amplia gama de disciplinas científicas básicas, desde la genética molecular hasta la sistemática, desde la demografía hasta la ecología y la macroecología de los ecosistemas, así como otras áreas de investigación integradoras, como la biología de la conservación, la conservación biocultural, las consecuencias del cambio global (p. ej., el climático), los sistemas complejos, la economía ecológica y la ética ambiental.

Los objetivos de este documento son: a] realizar una evaluación del estado actual de los conocimientos sobre la biodiversidad de América Latina y El Caribe (ALC), a fin de situar la diversidad biológica de la región en el contexto mundial; b] evaluar en forma crítica las investigaciones sobre biodiversidad realizadas en la región, de tal modo que identifiquemos las carencias y necesidades existentes en ese conocimiento; c] valorar la capacidad institucional de la región en materia de ciencias de la biodiversidad, e identificar sus principales centros de investigación sobre diversidad biológica; y d] establecer una serie de temas de investigación prioritarios e identificar la capacidad humana, infraestructura y otros recursos necesarios para poner en marcha el Plan Científico del ICSU-ALC en materia de biodiversidad.

Para los fines del presente estudio, se entiende que ALC abarca todas las naciones y dependencias ubicadas dentro de, o inmediatamente frente a, las costas de México, Centroamérica, Sudamérica y El Caribe.

En la primera sección de la evaluación, estableceremos las condiciones en que se desarrolló la biodiversidad de ALC. La evolución paleogeográfica de la región durante el transcurso de más de 100 millones de años (MA), precipitó una compartimentalización cada vez mayor de la región, lo que ocasionó un marcado aumento en la diversidad de los biomas y hábitats durante los periodos Cretácico, Terciario y Cuaternario, mientras que el surgimiento del ser humano, alrededor de 14 500 años antes del presente (AP), fue acompañado por una diversificación cultural intensiva y, más que nada, por el uso no intensivo del suelo. Hasta fines de la época precolombina, la evolución fisiográfica de la región, aunada a la extraordinaria diversificación cultural de los amerindios, cuyo resultado fueron centenares de dialectos y lenguas, favoreció en general la acumulación de agrobiodiversidad y conocimientos culturales relacionados con ésta. Luego, durante la época de la colonia, se puso en acción una tendencia inversa, cuyo resultado son las actividades agrícolas y silvícolas de plantación en gran escala y la creciente urbanización de nuestros días. La población urbana proyectada para el año 2050 supera a la población total actual de ALC, por lo que cabe esperar pérdidas significativas de conocimientos tradicionales.

En la segunda sección de la evaluación, veremos que ALC monopoliza la biodiversidad planetaria mediante datos generales detallados sobre: diversidad de divisiones biogeográficas, diversidad de ecosistemas, diversidad de especies, diversidad de formas de vida y grupos funcionales, concentración de endemismos, agrobiodiversidad asociada a la diversidad cultural, áreas críticas de biodiversidad y últimos bosques, y diversidad de interacciones bióticas. Algunos puntos destacados son: seis países de ALC figuran como megadiversos; 32% de la biodiversidad mundial de plantas vasculares, equivalente a unas 95 000 especies, está concentrada en un área equivalente a 9.6% de la superficie terrestre total; en Sudamérica: 33% de la biodiversidad total de las aves, 32% de los anuros, 25% de los mamíferos y 20% de los reptiles; dos centros vavilovianos de origen de agricultura y domesticación de plantas; siete de las 25 áreas críticas de biodiversidad con prioridad de conservación; un área crítica de biodiversidad de briofitas, recién descubierta, en el extremo

austral de Sudamérica; 22% de los últimos bosques del mundo. Brasil, que es el país más extenso de ALC, posee un total estimado de 170 000 a 210 000 especies descritas si se consideran todos los grupos taxonómicos, pero según se cree, atesora en total alrededor de 1.8 millones, si se tienen en cuenta los microorganismos y los hongos.

También revisamos los conocimientos derivados de la filogenética molecular, la genómica, el estudio de los servicios ecosistémicos de la biodiversidad, y la exploración de concentraciones excepcionales de biodiversidad y hábitats, pues la cordillera de Los Andes ha revelado recientemente algunas de las tasas de especiación más altas del mundo. Se concluye que siguen existiendo importantes lagunas de conocimiento en muchos grupos de organismos y países; no obstante, se están haciendo esfuerzos regionales extraordinarios, como el proyecto del Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur, que amalgama los conocimientos florísticos de Argentina, Chile y la parte meridional de Brasil. En comparación con los hábitats terrestres, los hábitats marinos y de agua dulce se caracterizan por tener enormes asimetrías en lo que respecta a conocimientos básicos o accesibilidad.

En general, uno de los problemas graves es la ausencia de datos sobre biodiversidad georreferenciados y la escasa disposición de algunas instituciones, con pocas y notorias excepciones (CONABIO, INBio), para publicar y hacer ampliamente disponibles sus datos por Internet.

El estudio de los servicios ecosistémicos se ve entorpecido por la falta de datos sobre fijación de carbono; sin embargo, empiezan a surgir avalúos económicos de algunos de tales servicios, y el ecoturismo y sus variantes están bien desarrollados en la región.

En esa misma sección, analizamos las principales amenazas para la biodiversidad y el estado que guardan las investigaciones de detección de los efectos de las mismas. Las principales amenazas son: la deforestación, los incendios, la sobreexplotación, la introducción de especies foráneas, el cambio climático y la contaminación. En particular, resulta preocupante que: América del Sur haya sufrido la mayor reducción forestal neta en el periodo 2000-2005; el Cerrado brasileño esté desapareciendo dos veces más rápido que los bosques húmedos del Amazonas; y las tasas de deforestación de países megadiversos, como México, sigan siendo muy altas. Aunque los hábitats terrestres, marinos y de agua dulce de ALC han recibido grandes cantidades de especies foráneas que abarcan la jerarquía taxonómica completa, nuestros conocimientos de los efectos especí-

ficos de dichas especies sobre la biodiversidad local son deplorablemente incompletos. Además, es de esperar que cada país reciba nuevos invasores, debido a la globalización y la creciente integración regional.

En ALC, es de esperar que el calentamiento global facilite en mayor grado la migración de especies hacia los polos en el extremo septentrional de la región que en la parte meridional de ésta, pues la extensión terrestre se amplía a medida que aumenta la latitud norte tropical, mientras que en Sudamérica debe ocurrir lo opuesto al sur del ecuador. Los resultados de los primeros estudios de simulación sobre las consecuencias del cambio climático sugieren ciertas pérdidas de biodiversidad, así como interacciones complejas entre fuerzas como la deforestación y el cambio climático, lo que exacerba, a su vez, el calentamiento global. Sin embargo, todavía son pocos los estudios experimentales sobre las consecuencias de este fenómeno. Los empinados gradientes altitudinales de Los Andes, que se repiten a lo largo de muchos grados de latitud, son un buen modelo, si bien poco aprovechado hasta ahora, para evaluar los efectos del cambio climático en la biodiversidad. La investigación sobre el cambio climático en el ámbito de los ecosistemas se ve entorpecida por la falta de conjuntos de datos de largo plazo y de la recopilación de datos regionales, con algunas notorias excepciones.

Debido a la creciente afluencia humana, aunada al calentamiento global, se considera que la Antártida es sumamente vulnerable a la invasión biológica. Es muy probable que los efectos de la contaminación en los ecosistemas marinos de ALC estén muy generalizados, según se aprecia en los resultados de las pocas investigaciones sobre esta fuerza de cambio en la biodiversidad.

Posteriormente, en la penúltima parte de la evaluación se analiza, en plan crítico, la *conservación de la biodiversidad* y lo que las investigaciones en ALC han logrado y revelan. Según la UICN, alrededor de 8 500 especies de plantas y animales de ALC tienen problemas de conservación, pero se concluye que esta cifra es una subestimación de la situación real. Los grupos más amenazados son los anfibios (32% del total) y los peces (24%); sin embargo, la inmensa mayoría de las especies que se consideran amenazadas (67%) son plantas.

Si bien es cierto que 21% de la superficie terrestre de ALC está protegida —la contribución porcentual más alta entre las regiones en vías de desarrollo, y mucho más elevada que

la de los países desarrollados—, los modelos de distribución y el análisis de vacíos espaciales en la conservación (GAP) revelan que la configuración actual de las áreas naturales protegidas (ANP) no siempre está ubicada de forma óptima para proteger la biodiversidad de la región. Además, existen enormes desequilibrios si se compara la protección de los bosques húmedos con la de los hábitats de selvas secas caducifolias y matorrales xerófilos, representados en este último caso por la Región Central de Chile y el Cerrado Brasileño, dos áreas críticas de biodiversidad (ACB) de importancia mundial, cuya protección es mínima. De este modo, la situación exige un esfuerzo de conservación más equilibrado en la región. Se concluye, además, que es necesario poner más interés en los agropaisajes y otras variantes de la matriz ecosistémica sujeta a manejo. Dondequiera que no existen terrenos, como sucede en el mar y los humedales costeros, pero sobre todo en las costas más frías y menos carismáticas de ALC, la creación de áreas de manejo y aprovechamiento de recursos bentónicos ha tenido cierto éxito al disminuir la pérdida de biodiversidad.

En la última parte de la evaluación presentamos una visión general de acuerdos institucionales y recursos para la investigación de la biodiversidad. Esto último indica que ALC posee muchas instituciones dedicadas, al menos en parte, a las ciencias de la biodiversidad, entre las cuales destacan varias instituciones noveles de talla internacional, dedicadas por completo a la investigación de la biodiversidad. Sin embargo, en términos generales, los científicos de la biodiversidad de ALC, en particular los ecólogos, han respondido con lentitud al reto de resolver problemas complejos de gran escala mediante redes de comunicación e intercambio de datos.

Resulta evidente que la enorme y biológicamente opulenta región de ALC, con sus recursos humanos e institucionales actuales, representa una magnífica oportunidad para el desarrollo de las ciencias de la biodiversidad en sus muchas y diversas dimensiones. Al redactar la sección sobre prioridades de investigación, se hizo hincapié en la promoción de actividades científicas integradoras, de orden internacional, que sean relevantes para la sociedad, al tiempo que se abre una ventana de oportunidad para mantenerse a la par de las actuales tendencias mundiales de la investigación de la biodiversidad y para preparar científicos y estudiantes que trabajen en colaboración y de modo vinculante. Asimismo, el plan científico en materia de biodiversidad pretende corregir las asimetrías de conocimiento, como las que se observan entre los hábitats terrestres, marinos y de agua dulce, y las importantes carencias

geográficas que existen en dicho conocimiento, como la falta de una guía de identificación de la rica flora de Brasil. Se considera necesario impulsar el avance científico y reorientar los esfuerzos científicos a fin de responder, en forma adecuada, las preguntas relevantes en una época de cambio climático y modificación inadecuada del uso del suelo.

Éstos son los temas de investigación prioritarios que la Guía de Planeación Estratégica (Strategic Planning Guide) recomienda en el campo de la biodiversidad:

- El desarrollo de bases de datos georreferenciadas y la conclusión de los inventarios biológicos, a fin de poner a prueba hipótesis sobre los patrones planetarios de gran escala de la biodiversidad, y detectar los efectos de las fuerzas de cambio globales —como el cambio climático— en la biodiversidad, haciendo hincapié en las principales lagunas de conocimiento, así como en las oportunidades generadas por los modelos de gradientes ecológicos de la región.
- La síntesis de la información filogenética molecular de la región, con el objeto de detectar patrones evolutivos y estudiar la diversidad filogenética de la biota de ALC.
- La evaluación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de los ecosistemas terrestres, incluyendo los humedales, sean manejados o naturales, así como del estado de conservación de los organismos con roles ecológicos conocidos e importantes, como los agentes de control biológico y los polinizadores.
- La consolidación de una red de observatorios ecológicos en ALC, a fin de iniciar estudios experimentales y proyectos de monitoreo o seguimiento de largo plazo, sobre los efectos de los cambios climáticos y del uso del suelo en la biodiversidad.
- El desarrollo de una evaluación regional de los efectos de las especies invasoras, en el contexto de la generación de sistemas de alerta temprana.
- La transformación de los conocimientos sobre la biodiversidad y la biocultura en actividades económicas sustentables, incluyendo todos los beneficios de la bioprospección, y los esfuerzos de conservación de servicios ecosistémicos esenciales.
- La búsqueda de soluciones para la aplicación de medidas de conservación de la biodiversidad en ecosistemas terrestres y marinos sujetos a manejo.
- El desarrollo de estudios sobre el valor de los servicios ecosistémicos de la biodiversidad urbana.

El plan científico en materia de biodiversidad contempla el uso de nuevos modelos e investigaciones experimentales, así como la síntesis y el análisis de la información actual. Las prioridades de investigación son congruentes con el plan científico de DIVERSITAS y con la eventual aplicación del Mecanismo Internacional de Pericia Científica sobre Biodiversidad (IMOSEB) o alguna variante del mismo. Varias prioridades se relacionan directamente con las recomendaciones de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio. Los vínculos con muchas iniciativas de biodiversidad y redes temáticas, como GEOSS, GMBA e ILTER, son evidentes. Se recomienda que se promueva, entre todos los investigadores y estudiantes de posgrado que participen en investigaciones financiadas por el Programa de Investigación de la Biodiversidad del ICSU-ALC, el realizar actividades de extensión fuera del ámbito académico.

La formación de capacidades humanas debe incluir: la capacitación e integración de taxónomos a las diversas áreas del plan científico; la capacitación de los científicos de ALC para que valoren la investigación en colaboración, las metodologías integradoras y las redes internacionales; la capacitación de personal especializado y jóvenes investigadores en los campos de informática y manejo de datos; la preparación de científicos para que interactúen con los medios de comunicación y realicen actividades de extensión.

Se considera que la incorporación de investigadores posdoctorales e internados de investigación es fundamental para el éxito del programa y la mayor internacionalización de las instituciones participantes. Las principales necesidades de infraestructura son: costosos equipos automatizados de vanguardia para registro de variables ambientales en estaciones de campo, aumento de la capacidad de cómputo, disponibilidad de imágenes satelitales y capacidad para generar y procesar imágenes.

Por último, se ofrecen diversas ideas para el financiamiento del plan científico en materia de biodiversidad. A todas luces, la investigación ecológica de largo plazo requiere un firme compromiso por parte de los gobiernos y de los organismos regionales —como la OEA—, a fin de adquirir los costosos equipos de campo necesarios para monitorear variables climáticas y de otros tipos, y para darles mantenimiento a dichos equipos. Según se estima, el costo promedio anual de poner en marcha el plan científico en materia de biodiversidad asciende a tres millones de dólares estadounidenses.

GRUPO DE PLANEACIÓN CIENTÍFICA Y COMITÉ REGIONAL

Grupo de Planeación Científica en Biodiversidad

Mary T. K. Arroyo *Coordinadora* (Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Santiago, Chile)

Rodolfo Dirzo *Coordinador* (Departamento de Biología, Stanford University, EUA)

Carlos Alfredo Joly (Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, Brasil)

Juan Carlos Castilla (Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile)

Francisco Cejas Rodriguez (Centro Nacional de Biodiversidad (IES), Cuba)

Mahabir Gupta *Enlace de RCLAC* (Panamá)

Comité Regional del ICSU para América Latina y El Caribe (2006-2012)

José Antonio de la Peña *Coordinador* (2006-2012)

Juan A. Asenjo (2006-2009)

Tara Dasgupta (2006-2011)

Sandra Díaz (2006-2009)

Mahabir Gupta (2006-2012)

Patricio Felmer (2010-2012)

Enrique P. Lessa (2006-2011)

Arturo Martinez (2010-2012)

María del Carmen Samayoa (2006-2011)

Elena Vigil Santos (2006-2012)

Ex officio

Jerson Lima Silva (ABC)

Sergio Pastrana (Consejo Ejecutivo del ICSU)

Patricia Ocampo-Thomason (Secretariado del ICSU)

Alice Abreu (Oficina Regional del ICSU)

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. BIODIVERSIDAD Y CIENCIAS DE LA BIODIVERSIDAD	17
1.2. OBJETIVOS DEL INFORME	19
1.2.1. Estructura de la evaluación	20
1.2.2. Definición de la región de América Latina y El Caribe	22
2. EVALUACIÓN	23
2.1. ALC: UN ESCENARIO ECOLÓGICO PARA LA BIODIVERSIDAD	23
2.1.1. Contexto fisiográfico	23
2.1.2. Evolución paleogeográfica	26
2.1.3. Contexto cultural	32
2.1.4. Tendencias demográficas y urbanas	38
2.1.5. Diagnóstico y retos	39
2.2. BIODIVERSIDAD DE ALC	41
2.2.1. Interrogantes	41
2.2.2. Diversidad de divisiones y provincias biogeográficas	42
2.2.3. Diversidad de ecosistemas	43
2.2.4. Diversidad de especies	48
2.2.5. Diversidad y rasgos funcionales	73
2.2.6. Endemismo	76
2.2.7. Agrobiodiversidad, diversidad cultural y reflexiones sobre diversidad genética	80
2.2.8. Áreas críticas de biodiversidad	89
2.2.9. Los últimos bosques	91
2.2.10. Las interacciones bióticas	92
2.2.11. Perspectivas de la filogenética molecular y la genómica	96

2.2.12. Bioprospección	102
2.2.13. Servicios ecosistémicos	104
2.3. PRINCIPALES AMENAZAS PARA LA BIODIVERSIDAD DE ALC	109
2.3.1. Contexto	109
2.3.2. Cambio en el uso de suelo	110
2.3.3. Sobreexplotación	118
2.3.4. Contaminación y deficiencias en el manejo	121
2.3.5. Invasiones biológicas	123
2.3.6. Cambio climático	132
2.3.7. Interacciones de las fuerzas de cambio	141
2.4. CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LA BIODIVERSIDAD	144
2.4.1. Estado de conservación	144
2.4.2. Medidas de conservación y aprovechamiento sustentable	148
2.4.3. Estudios de casos de manejo sustentable y conservación en ALC	157
2.5. BASE DE RECURSOS PARA LAS INVESTIGACIONES SOBRE BIODIVERSIDAD EN ALC	162
2.5.1. Recursos humanos e institucionales	162
2.5.2. Estaciones de campo y sitios de estudio ecológico de largo plazo	170
2.5.3. Formación de las capacidades humanas	171
2.5.4. Educación y medios de comunicación	171
3. PLAN CIENTÍFICO	175
3.1. ANÁLISIS SINÓPTICO	175
3.2. TEMAS DE INVESTIGACIÓN PRIORITARIOS	178
3.3. ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN Y EXTENSIÓN	187
3.4. VÍNCULOS CON LAS REDES INTERNACIONALES EXISTENTES A FAVOR DE LA BIODIVERSIDAD Y OTROS TEMAS AFINES	187
4. FORMACIÓN DE LAS CAPACIDADES HUMANAS, TALLERES, INFRAESTRUCTURA Y OTRAS NECESIDADES	191
4.1. CAPACITACIÓN	191
4.2. TALLERES	192
4.3. INFRAESTRUCTURA Y OTRAS NECESIDADES AFINES	193
5. RECOMENDACIONES PARA FINANCIAR EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA BIODIVERSIDAD	195
BIBLIOGRAFÍA	199
GLOSARIO DE ACRÓNIMOS	231

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestras respectivas instituciones académicas el habernos permitido dedicar un tiempo considerable a la investigación y redacción del presente documento durante el primer semestre de 2008, así como a nuestros alumnos y colegas por su paciencia durante los últimos meses. Para nosotros, ha sido un auténtico placer interactuar con Alice Abreu, directora de la Oficina Regional para América Latina y El Caribe, Consejo Internacional para las Ciencias (ICSU), Río de Janeiro, y enterarnos de que la nueva oficina del ICSU-ALC está en manos más que buenas. Mary T. K. Arroyo desea expresar su agradecimiento a las siguientes personas: Ana María Humaña, Leah Dudley, asociada posdoctoral, y Carolina Henríquez, coordinadora de estudios de posgrado del Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB), Santiago de Chile; asimismo, Rodolfo Dirzo hace patente su gratitud al asociado posdoctoral Juan Carlos López, de la CONABIO, por su buena disposición y ayuda en la edición de los tres borradores activos del presente informe, y por haber recopilado datos sobre la membresía de las sociedades científicas. Alexandre Colombo, de la Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Brasil, se ofreció voluntariamente a elaborar algunas de las figuras, a petición de Carlos Joly. M.T.K. agradece el pago de tiempo mediante las becas ICM-P02-051 y PFB-23. Por último, agradecemos mucho a todas las personas o editoriales que nos autorizaron el uso de las imágenes y los otros materiales publicados con que se preparó, fundamentó e ilustró el documento.

Este informe resultó mucho más sustancioso de lo que se había planeado originalmente. Esperamos, con toda sinceridad, que la extensión del mismo ponga de manifiesto la enorme importancia del financiamiento de investigaciones sobre biodiversidad

en América Latina y El Caribe, y que sirva para calcular los fondos que será necesario destinar para que el Plan científico del ICSU-ALC se haga realidad. Sin embargo creemos que aunque el documento bastará apenas para recalcar entre nuestros colegas, alumnos y el público en general, el mensaje a favor del extraordinario capital natural de América Latina y El Caribe, y en contra de las formidables amenazas que la región enfrenta, el tiempo utilizado para elaborarlo habrá valido la pena.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. BIODIVERSIDAD Y CIENCIAS DE LA BIODIVERSIDAD

La biodiversidad, que es el resultado de millones de años de evolución orgánica impulsada por las presiones selectivas del medio ambiente, abarca la parte viva del sistema de soporte vital de nuestro mundo, y es el origen de los muchos y esenciales servicios ecosistémicos que la humanidad necesita; es decir, el capital natural del planeta. La biodiversidad no sólo contribuye directamente al funcionamiento de los ecosistemas naturales, sino que, además, cuando se le transporta indebidamente de una parte del mundo a otra, puede alterar gravemente los ecosistemas. Al mismo tiempo, las alteraciones ambientales bruscas, como el cambio climático y el uso inapropiado del suelo, pueden causar reorganizaciones ecosistémicas o pérdidas de biodiversidad aunadas con alteraciones en el funcionamiento del ecosistema, lo que, a su vez, puede afectar la generación de servicios ecosistémicos esenciales, como la fijación de carbono, y menoscabar la integridad del propio sustrato del cual dependen los medios de subsistencia sustentables de millones de seres humanos en el mundo. Por lo tanto, la pérdida de biodiversidad representa un problema tan crítico para la existencia humana, en tan diversos niveles, que ahora las ciencias que estudian la diversidad biológica son ampliamente reconocidas como un área prioritaria de la investigación científica, tanto en los países desarrollados como en el mundo en vías de desarrollo (Loreau y cols., 2006).

La biodiversidad se define como la variedad de la vida en la Tierra en todos sus niveles, desde los genes hasta los ecosistemas. La diversidad genética, que se

expresa a nivel de los genes mediante mutaciones y otros procesos, ha sido atinadamente denominada como la “materia fundamental de la diversidad” y es, en última instancia, la responsable de las variaciones entre individuos, poblaciones, especies y categorías taxonómicas superiores. Las poblaciones y las especies son las unidades evolutivas básicas, que interactúan en el tiempo y el espacio ecológico, con el objeto de producir manifestaciones de la biodiversidad tan características como la abundancia de especies y la diversidad funcional de cada lugar. A su vez, las especies se organizan para formar ecosistemas, cuya estructura y funcionalidad dependen de las propiedades intrínsecas y las interacciones de dichas especies, y que son moldeados, a su vez, por el medio ambiente abiótico. En respuesta a esto último y a las funciones de la biodiversidad, las modernas ciencias de la biodiversidad incluyen el *descubrimiento* de la biodiversidad, los *procesos evolutivos y ecológicos* que causan y sostienen la distribución de la biodiversidad en la Tierra, así como el análisis de los *servicios ecosistémicos* y los *valores socioeconómicos* que la biodiversidad genera, y la búsqueda de mecanismos que permitan *conservarla y aprovecharla de manera sostenible*. Si reconocemos que los seres humanos somos parte de la naturaleza, la *diversidad cultural* también se debe considerar parte de la biodiversidad. La conservación de la diversidad biológica y cultural requiere de un enfoque interdisciplinario que vincule las dimensiones sociales y ecológicas como parte de un todo común.

Puesto que la biodiversidad es un concepto muy vasto e incluyente, las ciencias de la misma abarcan una amplia gama de disciplinas científicas básicas, desde la genética molecular hasta la sistemática (desde alfa hasta molecular, inclusive), desde la demografía hasta la ecología de ecosistemas y la macroecología, así como muchas áreas de investigación integradoras. La pérdida de biodiversidad en la Tierra debido a las prácticas inadecuadas del uso del suelo, aunada a los efectos emergentes del cambio climático sobre la biodiversidad y las complejas interacciones de dichas fuerzas, ubican a la investigación científica en materia de biología de la conservación, la conservación biocultural, las consecuencias del cambio climático, los sistemas complejos, la economía ecológica y la ética ambiental, en el centro mismo de las ciencias de la biodiversidad en los albores del siglo XXI.

La región de América Latina y El Caribe (ALC), que es el tema de este informe, es una parte del mundo con gran diversidad geopolítica y cultural. Tal clase de diversidad, una vez sumada a la diversidad biológica de la región, debe ser vista como una oportunidad, y no como un impedimento, para un desarrollo de las ciencias de la biodiversidad que sea relevante para la sociedad humana. Dichas ciencias, debidamente controladas y con un adecuado apoyo financiero, pueden ser la clave del desarrollo de nuevas metodologías para la investigación y la conservación de la biodiversidad.

1.2. OBJETIVOS DEL INFORME

El objetivo central de este informe, a petición del ICSU-ALC, es crear un plan científico aparejado con la formación de capacidades humanas y la infraestructura necesarias para investigar la biodiversidad de la región en un contexto científico de talla internacional. Dado el enorme crecimiento del alcance de las ciencias de la biodiversidad durante los últimos diez años, resulta evidente que ésta no será una tarea fácil. Por lo tanto, a fin de establecer las prioridades de investigación, consideramos esencial que se lleve a cabo una evaluación del estado actual de los conocimientos sobre la biodiversidad de la región, poniendo atención en las diferentes facetas de la investigación de la biodiversidad y en cuáles se ubican las contribuciones de los científicos latinoamericanos. Tal evaluación proporcionará, asimismo, breves descripciones de tres instituciones de investigación que se dedican a las ciencias de la biodiversidad en la región, así como dos ejemplos contemporáneos de investigación integradora. La evaluación que presentamos en este documento no pretende en modo alguno ser exhaustiva, ni por sus ejemplos ni por su bibliografía. Tampoco ofrecemos datos cuantitativos de los científicos dedicados a la investigación de la biodiversidad. Así, cualquier desequilibrio en este sentido deberá ser atribuido a las limitaciones impuestas por la formación profesional y los conocimientos de sus cinco autores, así como a las complejidades asociadas con el hecho de abarcar un campo tan amplio de la investigación científica y un área geográfica tan vasta en tan poco tiempo.

1.2.1. Estructura de la evaluación

La primera sección de la evaluación se dedica a establecer el contexto en el cual se desarrolló la biodiversidad de ALC, haciendo hincapié en: a] la evolución paleogeográfica y climática de la región como fuerza de cambio de gran escala de la biodiversidad y su distribución actual; b] la ocupación humana primitiva y el surgimiento de ecosistemas naturales modificados por el ser humano; c] las tendencias del uso del suelo y el crecimiento demográfico en la época de la Colonia. El principal mensaje que daremos al respecto es que, hasta la llegada de los europeos, la evolución física de la región y la llegada de los primeros seres humanos a ésta favorecieron en general la acumulación de agrobiodiversidad y conocimientos culturales relacionados con la misma, y que nos falta mucho por aprender acerca de aspectos que son relevantes para la creación de una estrategia de investigación de la biodiversidad.

La segunda sección de la evaluación está dedicada a demostrar, mediante el análisis detallado de una serie de parámetros y métodos de estudio de la biodiversidad, que ALC es la región más biodiversa del planeta. Aquí señalaremos las carencias que persisten en el conocimiento de muchos grupos de organismos y en ciertos países, y destacaremos la asimetría o la accesibilidad de los conocimientos acerca de los hábitats marinos y de agua dulce en comparación con los terrestres.

En la tercera sección de la evaluación, revisaremos las *principales amenazas para la biodiversidad* y el estado de avance de las investigaciones en cuanto a sus efectos en la biodiversidad y la manera de mitigar tales amenazas. En esta sección, se concluye que la investigación en este campo, tan esencial para la región, está muy atrasada y debe ampliar sus alcances para hacerla más relevante para la sociedad y elevarla al ámbito internacional.

En la cuarta sección de esta evaluación, veremos, en plan crítico, dónde se ubica ALC en lo referente a la *conservación de la biodiversidad*, y qué nos sugieren hacer las investigaciones realizadas hasta ahora. En esta sección, las principales conclusiones son: que las ANP presentes en la región resultan inadecuadas para proteger la biodiversidad, que se dispone de pocos recursos humanos capacitados para este ti-

po de investigación, y que será necesario recurrir a otros tipos de medidas de protección.

La evaluación fue redactada de tal modo que permite detectar, a medida que se avanza, las necesidades de investigación específicas relacionadas con los interrogantes de investigación clave y con la base de conocimientos actual. En la quinta sección del documento, reuniremos las muchas necesidades de investigación específicas de la región y las organizaremos en forma de un conjunto de prioridades de investigación.

Si bien es cierto que en el plan científico final se destaca la necesidad de realizar una investigación internacional integradora que beneficie a la sociedad humana, también se reconoce que, si pretendemos que la región excepcionalmente biodiversa de ALC haga una contribución real, tanto en el plano intelectual como en el de la conservación de la biodiversidad, dicha investigación dependerá muchísimo, y necesariamente, de la calidad y la representatividad geográfica de los conocimientos derivados de las disciplinas básicas de las ciencias de la biodiversidad, como la taxonomía y la ecología. Al mismo tiempo, el mencionado plan reconoce que los actuales esfuerzos regionales e internacionales de investigación sobre la biodiversidad en gran escala, dependen en alto grado de la informática y la información almacenada en voluminosas bases de datos georreferenciadas, y que, en el futuro inmediato, se recurrirá cada vez más a las técnicas genómicas, aunque el trabajo ecológico comparativo de orden regional y mundial, en el ámbito de la biodiversidad, requiera metodologías experimentales y estudios comparativos de largo plazo, todo lo cual implica comprometerse a hacer cuantiosas inversiones de largo plazo.

En la sección sobre la formación de capacidades humanas, además de promover la capacitación en materia de investigación básica *per se*, se destaca la necesidad de que la región produzca una nueva generación de científicos, debidamente preparados para integrar esfuerzos de investigación colaborativa en los ámbitos regional y mundial.

1.2.2. Definición de la región de América Latina y El Caribe

Los organismos vivos (con excepción de la especie humana) no saben de límites políticos. Por consiguiente, en este documento nos apegaremos a una definición biogeográfica de ALC. Se entenderá que ALC abarca todas las naciones y dependencias ubicadas dentro de, o inmediatamente frente a las costas de México, Centroamérica, Sudamérica y El Caribe. México y Centroamérica están representados por ocho países independientes, mientras que Sudamérica consta de 12 países y la Guayana Francesa (protectorado de Francia). El Caribe consta de 13 naciones isleñas independientes y 11 islas o archipiélagos; estos últimos pueden pertenecer al Reino Unido, Francia, los Países Bajos o Estados Unidos. También se incluyen las Islas Malvinas y el Archipiélago de las Galápagos, frente a las costas de Sudamérica. Dos países de ALC (Chile y Argentina) han reivindicado oficialmente sendas partes del territorio de Antártida; otro más (Brasil), hizo una reivindicación extraoficial.

2. EVALUACIÓN

2.1. ALC: UN ESCENARIO ECOLÓGICO PARA LA BIODIVERSIDAD

2.1.1. Contexto fisiográfico

Con 20.6 millones de km², que representan 9.6% de la superficie terrestre total del planeta, y rodeada por inmensos océanos, lo que significa territorios marítimos totales de 20-28 millones de km² en la Zona Económica Exclusiva y mares territoriales equivalentes a 1.5-2.0 millones de km², cabe afirmar, *a priori*, que ALC es un escenario de relevancia mundial para la biodiversidad. Puesto que abarca ambos trópicos, se prolonga hasta los umbrales de la Antártida y su territorio se caracteriza por tener pronunciados gradientes altitudinales que comprimen las condiciones de temperatura presentes en muchos grados de latitud en compactas zonas altitudinales, ALC posee ecosistemas subpolares, templados, subtropicales y tropicales. Además, comprende la mayor extensión de bosques tropicales y una de las principales áreas de almacenamiento de carbono del mundo, abarca biomas que van desde tropicales hasta templados de tipo alpino, y posee el relictó más austral de bosques templados del Hemisferio Austral y el área de distribución más septentrional de bosques húmedos tropicales. Contiene varias de las áreas críticas de biodiversidad (ACB) mundiales y algunos de los centros más importantes de origen de la agricultura y la domesticación de plantas. En los océanos, ALC posee una de las zonas marinas más productivas del mundo.

La región de ALC se extiende desde los 32° 43' de latitud norte hasta casi los 56° de latitud sur. La cordillera de Los Andes, que abarca sin interrupciones el borde

occidental de América del Sur a lo largo de 45° de latitud, alberga todas las cumbras de más de 4 000 m.s.n.m. del Hemisferio Austral, y los 54 volcanes de más de 6 000 m.s.n.m del mundo; además, estos últimos están asociados a termas incomparables y hábitats de microorganismos tan fuera de lo común como cabría esperar. El legado tectónico y la geomorfología de ALC han dotado a la región no sólo con la cordillera andina y las serranías, tectónicamente equivalentes, que atraviesan México y Centroamérica, sino también con 360 000 km² de cuerpos de agua interiores, entre ellos cinco de los 20 ríos más largos del mundo (Amazonas, Paraná, Purús, Madeira y San Francisco). ALC alberga tres de los 11 humedales más grandes del mundo —El Pantanal, los humedales amazónicos y las turberas templadas de Sudamérica austral (Junk y cols., 2005; Alho, 2005, Arroyo y cols., 2005). A esos cuerpos de agua interiores debemos agregar un sinnúmero de islas caribeñas y alrededor de 1 300 km de fiordos en el sur de Chile, mismos que forman parte de alrededor de 64 000 km de hábitats marinos costeros, equivalentes a 17.9% del total mundial, y la presencia de un cuasi “mar interior”, el Golfo de California, situado al este de la Península de Baja California.

En lo que respecta a los hábitats marinos, ALC está rodeada por tres vastos océanos, el Antártico, en el extremo sur de la región; el Pacífico y el Atlántico, mismos que abarcan ocho enormes ecosistemas marinos. Estos océanos incluyen, además, sistemas submarinos abisales y hadales, así como ambientes de fosas oceánicas de más de 10 000 m de profundidad, donde suele existir una diversidad biológica fuera de lo común. El ambiente oceánico del Pacífico Central y Sudoriental se caracteriza por sus sistemas dinámicos de afloramiento y no afloramiento de aguas profundas, como el sistema de la corriente de Humboldt, que surge de la deflexión del sistema de deriva impulsado por los vientos alisios del Pacífico, que fluye hacia el norte, recorriendo las costas occidentales de Sudamérica y prolongándose hasta el centro y el norte de Perú. Esta corriente, que trae consigo el fitoplancton de la Antártida, constituye uno de los sistemas marinos de afloramiento de aguas profundas más productivos del mundo, pues sus recursos pesqueros representan entre 15 y 20% de la captura mundial anual. El lado del Pacífico del Cono Sur sudamericano alberga las zonas de oxí-

geno mínimo (*oxygen minimum zone*, OMZ) menos profundas del mundo; si las sumamos a las del Pacífico Oriental Central, ALC posee entre 65 y 75% de las OMZ del mundo. Además, la región alberga el segundo arrecife de coral más grande del planeta, ubicado frente a las costas de México y Centroamérica, más otro extenso arrecife situado en el Océano Atlántico, frente a las costas de Brasil (Amaral y Jablonski, 2005).

Como sería de esperar, la diversidad fisiográfica de ALC se refleja en una amplia variedad de climas. Las condiciones tropicales prevalecen en la mayor parte de los hábitats terrestres de la región, dada la enorme extensión de las tierras ubicadas en esas latitudes. No obstante, en los océanos, donde las plataformas continentales tienden a ser más amplias en las latitudes templadas, las condiciones templadas y tropicales están bien representadas; como veremos más adelante, este factor parece determinar la existencia de patrones de diversidad contrastantes, tanto en la tierra como en los mares. Entre los determinantes climáticos de gran escala presentes en la región destacan las presiones relativamente bajas de la franja ecuatorial (10°N-10°S), las cápsulas de alta presión cuasi permanentes en el Atlántico al norte y al sur, y una franja de baja presión que define el flujo de las corrientes hacia el oeste en la parte meridional de América del Sur. México, Centroamérica y El Caribe se ven afectados por el paso de frentes fríos y ciclones tropicales sobre los Océanos Atlántico y Pacífico. Una zona térmica baja ubicada entre 20° y 30°S al este de Los Andes determina un patrón de circulación monzónica, lo que provoca precipitaciones estacionales veraniegas en el Altiplano e influye en la ubicación de la zona de convergencia intertropical (*inter-tropical convergence zone*, ITCZ) de la región. En el lado occidental de Sudamérica, la interacción de la ITCZ con el efecto de sombra de lluvia de Los Andes, la gélida corriente de Humboldt y un frente polar debilitado, determinan la hiperaridez que caracteriza al Desierto de Atacama (Arroyo y cols., 1988) y la llamada "diagonal árida", que se extiende desde las costas de Perú hasta la Patagonia, cruzando Los Andes. Por otro lado, en el extremo sur del continente, el clima se ve muy afectado por los vientos alisios y un frente polar predominante, lo que genera intensas precipitaciones en la vertiente occidental de Los Andes.

El clima del Océano Atlántico y las regiones terrestres adyacentes también se ve muy influenciado por las temperaturas superficiales del mar y los vientos. La circulación principal de los vientos superficiales sobre el Océano Atlántico se caracteriza por un patrón de distribución de zonas orientado en sentido este-oeste. La máxima frecuencia de tormentas, con más de 30% en invierno, se observa en la zona de los alisios predominantes. Los ciclones tropicales (huracanes) se forman frente a las costas de África, cerca de Cabo Verde, y de ahí se desplazan hacia el oeste hasta el Mar Caribe. Durante los últimos 500 años, más de 100 huracanes han azotado El Caribe (Colón, 1977).

Además, ALC se ve afectada por la Oscilación Meridional de El Niño (*El Niño southern oscillation*, ENSO), cuya escala es decadal. El signo y la fuerza de las anomalías climáticas relacionadas con la ENSO dependen de la geografía y la estación del año, lo que genera un cuadro funcional complejo en las diversas partes de la región (cf. Garreaud y Aceituno, 2007), el cual se manifiesta con ciclos alternantes de sequías e inundaciones.

Éste es, en pocas palabras, el complejo esquema ambiental donde ha evolucionado la extraordinaria biodiversidad de ALC.

2.1.2. Evolución paleogeográfica

La biodiversidad es el producto de millones de años de evolución orgánica, conformada por procesos ecológicos e interacciones con otros seres vivos, entre los cuales figura, aunque en fechas más recientes, el ser humano. La biodiversidad de ALC evolucionó y se organizó en condiciones de transformación recurrente de las masas terrestres y oceánicas, así como del cambio climático continuo durante los últimos 100 MA (millones de años). Sin embargo, puesto que Sudamérica no ha cambiado significativamente de latitud desde el Cretácico, y dado que las latitudes tropicales se vieron menos afectadas que las templadas por las glaciaciones del Cuaternario, las regiones tropicales de tierras bajas de América del Sur han gozado, en sentido relativo, de

mayor estabilidad climática, un factor que, según muchos expertos, a través de los milenios pudo haber contribuido al aumento de la biodiversidad terrestre en las latitudes tropicales.

Ecosistemas terrestres

Además de influir en los aspectos geológicos y edáficos de ALC, la historia tectónica de la región ha determinado su proximidad general a otros continentes y, por consiguiente, ha facilitado la migración biótica en toda la región, así como la posibilidad de expansión de ciertos clados entre México y América Central, El Caribe y Sudamérica. La tendencia general ha sido hacia una *diversificación ecológica cada vez mayor de la configuración terrestre de ALC conforme transcurre el tiempo*.

Desde el punto de vista geográfico, la superficie terrestre de ALC integra la parte más meridional de la placa tectónica norteamericana (de la Península de Yucatán hacia el norte, incluyendo parte de Cuba), la placa caribeña (islas del Caribe), América Central y algunas partes del norte de Venezuela), pequeñas partes de las placas de Cocos y el Pacífico (Baja California), y toda la placa sudamericana, lo que hace de ALC una de las regiones geológicamente más —si no es que la más— complejas del mundo. Hasta hace unos 118 MA, Sudamérica estuvo conectada con África, y también lo estuvo con la Antártida hasta hace 30-40 MA (Cook y Crisp, 2005; McLoughlin, 2001), lo cual explica los indiscutibles legados que estas regiones geográficas, hoy tan lejanas, dejaron en la biota de ALC. Sudamérica y Centroamérica estuvieron desconectadas hasta la formación del Istmo de Panamá, hace 15 MA, pero la conexión definitiva no se completó sino hasta hace unos 2.5 MA (Marshall y Semper, 1993), cuando el intercambio terrestre entre América del Norte, Centroamérica y Sudamérica se volvió expedito; al mismo tiempo, los hábitats marinos del Atlántico y el Pacífico se desconectaron, estableciendo así un interesante contraste para los hábitats marinos y terrestres.

En el medio terrestre, Sudamérica tuvo grandes mares interiores a fines del Mioceno Medio (Marshall y Lundberg, 1996), lo que impidió la migración directa de

plantas y animales en sentido este-oeste. El aumento en la elevación de la Cordillera Andina a más de 6 000 m.s.n.m durante el Terciario y el Cuaternario, como consecuencia de la subducción de la placa de Nazca, dio por resultado la llamada “diagonal árida” sudamericana, lo que generó una marcada diferenciación climática en sentido oriente-poniente y creó una barrera geográfica significativa que entorpeció la migración en dicho sentido, al mismo tiempo que surgió un corredor altitudinal elevado que facilitó la migración latitudinal de plantas y animales a lo largo de más de 7 000 km. En México, la formación de la Sierra Madre Occidental, hace 34-15 MA (Becerra, 2005), y la elevación del Altiplano Central, tuvieron un efecto significativo sobre el clima y las cuencas hidrológicas de la región, tal como sucedió con el levantamiento andino. Asimismo, la elevación de la Sierra Madre Oriental interrumpió la continuidad de las llanuras costeras mexicanas del Atlántico y promovió el desarrollo de grandes sombras de lluvia, lo que generó condiciones propicias para la formación de desiertos en latitudes intertropicales. Una importante consecuencia secundaria de la elevación de la Cordillera Andina, y la persistencia de las moderadamente elevadas y antiguas tierras altas de Guyana y Brasil, fue la formación de extensas cuencas hidrológicas como las de los ríos Amazonas (7 millones de km²), Orinoco (0.83 millones de km²), Magdalena (0.32 millones de km²) y Paraná (4 millones de km²) en el Neógeno, que se caracterizan por tener suelos más jóvenes y fértiles que los arcaicos escudos continentales de Guyana y Brasil, y por sus largos cauces, que fluyen hacia el este. Hoy, dichas cuencas conducen hacia el Atlántico el 93% del agua dulce que se precipita en el continente y han contribuido a la diversificación de la ictiofauna de ALC (Lundberg y cols., 1998). Por el contrario, la mayoría de los ríos que discurren hacia el oeste de los Andes son cortos y de flujo rápido.

Al parecer, durante la última etapa del Cretácico y el Paleógeno, la superficie terrestre de ALC fue relativamente baja y estaba cubierta principalmente por bosques tropicales y subtropicales húmedos (Graham, 1999; Ortiz-Jaureguizar y Cladera, 2006), incluso en las latitudes más australes de América del Sur. Los gradientes latitudinales de temperatura, tanto en la tierra como en los océanos circundantes, deben haber sido menos pronunciados que en la actualidad. Sin embargo, algunos ex-

pertos afirman que las condiciones áridas y semiáridas del desierto de Atacama se remontan a más de 150 MA en el pasado (Hartley y cols., 2005). El enfriamiento climático mundial ocurrido durante el Oligoceno, y nuevamente durante el Mioceno-Plioceno, tuvo por consecuencia el inicio de las glaciaciones en la Antártida, que junto con el aumento de las sombras de lluvia de Los Andes y las principales serranías de México y América Central, ocasionó la contracción latitudinal de la franja de bosques tropicales y una diversificación significativa de los mayores biomas de la región, lo que abarcó extensas áreas de selvas caducifolias y xerófilas tropicales, matorrales mediterráneos, bosques templados fríos, pastizales y semidesiertos en el Mioceno-Plioceno (Hinojosa y Villagrán, 1997; Ortiz-Jaureguizar y Cladera, 2006). Las investigaciones moleculares recientes sugieren que las selvas caducifolias y xerófilas tropicales de México se volvieron prominentes hace 30-20 MA (Becerra, 2005). Muchos elementos de los bosques templados fríos migraron del norte hacia México y Centroamérica (Graham, 1999), y de los bosques húmedos templados australes hacia el norte de Los Andes (Van der Hammen, 1974) durante el Plioceno.

Aunque sobra decirlo, la separación de Sudamérica respecto de Centroamérica y África durante el Terciario, dejó una marca muy clara en la biota del Neotrópico en general. A partir de la separación de la Antártida, la flora, la fauna y la microbiota neotropicales evolucionaron en total aislamiento. La elevación de un puente terrestre ininterrumpido en Centroamérica hace 2.5 MA, atestiguó la llegada de elementos de clima templado a las tierras altas sudamericanas y la aparición concurrente de taxones sudamericanos en América Central, pero se tienen pruebas sólidas de que los inmigrantes procedentes del norte desplazaron a la fauna neotropical, sobre todo a los mamíferos. La mezcla de taxones que se observa en las floras tropicales mexicanas derivadas de las regiones tropicales de Sudamérica y Centroamérica, así como de los restos de las floras tropicales septentrionales del Eoceno, es un legado de los efectos de la formación del Istmo de Panamá en la región neotropical (Burnham y Graham, 1999).

El Pleistoceno, que fue una época de expansión del casquete polar hacia el sur de la Patagonia, disminuyó los niveles eustáticos, las temperaturas y las franjas de

vegetación, lo que afectó por igual las latitudes templadas y tropicales de ALC. Los datos sobre los cambios de temperatura ocurridos durante fines del Terciario y el Cuaternario indican que hubo fluctuaciones de temperatura de hasta 6° en las latitudes bajas. Es probable que la precipitación pluvial haya tenido variaciones regionales, lo que generó un mosaico de hábitats controlado por migraciones fluviales, fluctuaciones en el nivel del mar, condiciones locales de aridez y levantamientos orográficos locales. En las latitudes subtropicales, se han detectado cambios significativos en la distribución de la precipitación pluvial estival e invernal en el norte de Chile (Betancourt y cols., 2000) y en México (Metcalf y cols., 2000).

Asombrosamente, Sudamérica perdió 75% de su mastofauna durante las glaciaciones del Plioceno y el Pleistoceno, pues se extinguieron al menos 51 géneros (Meserve, 2007). Una de las preguntas más interesantes es entender la trascendencia evolutiva y ecológica de este evento de extinción masiva para la mastofauna del presente. Las zonas postuladas como refugios pleistocénicos representan hipótesis demostrables mediante datos neoecológicos y paleoecológicos (Burnham y Graham, 1999). Aunque en la actualidad se tiende a cuestionar la hipótesis del refugio amazónico, parece indudable que los efectos del cambio climático sobre la fisonomía de la vegetación tuvieron un papel crucial en la conformación no sólo de los patrones actuales de la distribución de los mamíferos (Stebbins, 1981; de Vivo y Carmignotto, 2004), sino también de los biomas y los ecotonos presentes. Durante el último máximo glacial (*last glacial maximum*, LGM), las áreas de distribución de las especies forestales de plantas y animales se fragmentaron, y la cubierta forestal total se contrajo (Bonaccorso y cols., 2006). En las latitudes australes extremas de Sudamérica, los bosques templados fueron reemplazados casi totalmente por la tundra subantártica durante el LGM.

En general, la evolución paleogeográfica de ALC, junto con la diversificación del clima regional, *precipitó un grado de compartimentalización cada vez mayor del escenario ecológico terrestre de la región, lo que significó un marcado aumento en la diversidad de los biomas durante el Terciario, con mayor contribución de los biomas más propensos a los incendios y de los elementos templados que durante el Cretácico precedente.*

Ecosistemas marinos

Hace unos 160-150 MA, los deltas y humedales abundaron en las costas del Mar Caribe (Haczewski, 1976). Arrastrada por las corrientes marinas que se desplazaban de este a oeste, una gran variedad de organismos planctónicos e invertebrados colonizó El Caribe (Berggren y Hollister, 1974). Junto con el plancton llegaron también muchos peces y, en última instancia, una inmensa diversidad de reptiles carnívoros (Gasparini e Iturralde-Vinent, 2006). Desde luego, el efecto delimitante del evento K/T tuvo consecuencias mayores en El Caribe (Iturralde-Vinent, 2004) y causó la reestructuración de los ecosistemas marinos durante el Paleoceno, así como la aparición de elementos procedentes del Atlántico y el Pacífico (Jackson y cols., 1996; Prothero y cols., 2003). Con el cierre del Istmo de Panamá, las comunidades marinas caribeñas empezaron a exhibir mayor similitud con las del Atlántico y dieron lugar al surgimiento de muchos nuevos endemismos.

El Oligoceno y el Neógeno representan etapas cruciales para el establecimiento de las condiciones climáticas y oceanográficas que produjeron los conjuntos de especies presentes hoy en el sureste de la Cuenca del Pacífico. El paso de Drake se abrió hace aproximadamente 32 MA. Como dato importante, el sistema costero de afloramiento de aguas profundas de Perú se activó hace unos 12-13 MA, seguido por otro afloramiento de aguas profundas similar, hace 5-6 MA, frente a las costas actuales de Chile. El resultado fue el surgimiento del actual sistema de Humboldt frente a las costas de Chile y Perú.

Con la formación del Istmo de Panamá, la conexión entre las cuencas del Caribe y el Pacífico quedó cerrada durante el Plioceno. El sistema de fiordos del sur de Chile se desarrolló en el transcurso del Pleistoceno (ca. 2 MA). Y la moderna oscilación meridional de El Niño (ENSO) cobró plena fuerza durante el Holoceno.

En paralelo a la situación terrestre, la fauna marina costera del sureste de la cuenca del Pacífico era característicamente subtropical hacia principios del Mioceno, pero se volvió templada-fría a mediados del Mioceno en Perú, y lo mismo ocurrió en las costas chilenas hacia fines del Plioceno. Puesto que se registran extinciones

masivas de fauna marina a fines del Plioceno, la fauna marina moderna no se estableció en el sureste del Pacífico sino hasta el Pleistoceno. Esas extinciones faunísticas masivas están particularmente bien documentadas en los moluscos, sobre todo en los bivalvos.

Además de definir provincias biogeográficas claras, los últimos 200 MA de historia tectónica de ALC dieron por resultado una enorme diversidad de plataformas continentales y tipos costeros, lo cual significó, en conjunto, una diversidad excepcional de hábitats marinos. Existen plataformas continentales que van desde apenas 13-18 km de ancho frente a las costas del sur de Perú y el norte de Chile, hasta 245 km en el caso del sur de Brasil y Argentina (500 km en las Islas Malvinas) (Araya-Vergara, 2007). En cuanto se refiere a la orografía costera, en el sur de Chile se observan glaciales erosivos y deltas de fiordos, mientras que en las costas del Caribe y en ambas costas del norte de Sudamérica existen manglares y arrecifes coralinos, con dunas de arena y marismas en toda la región. *En general, el ámbito ecológico marino de ALC parece haberse diferenciado, al igual que las masas terrestres, en forma progresiva a través del tiempo.*

2.1.3. Contexto cultural

Resulta esencial entender con claridad el desarrollo de las duplas ecosistema-ser humano de ALC en el transcurso del tiempo histórico, a fin de comprender los patrones de la biodiversidad y encontrar maneras de aprovecharla de modo sustentable y conservarla.

Época precolombina

Aunque no por tanto tiempo como en otras regiones del mundo, el ser humano ha ocupado ALC durante el tiempo suficiente para afectar la ecología y la biodiversidad de la región. Las investigaciones filogenéticas han confirmado que pueblos de tipo amerindio cruzaron por Beringia alrededor de 19 000 años AP, inmediatamente des-

pués del último máximo glacial. Los restos arqueológicos más antiguos que pueden atribuirse a los amerindios de ALC datan de 14 500 años AP (Monteverde, sur de Chile). Sin embargo, existen en la región fechas de ocupación humana más controvertidas, e incluso más remotas. Un cráneo encontrado a las orillas del gigantesco lago prehistórico ubicado donde hoy se encuentra la Ciudad de México, y fechado en 13 000 años AP (la mujer del Peñón), presenta características aparentemente caucásicas, lo que sugiere la posibilidad de una migración mucho más temprana de gente caucasoide a través del Estrecho de Bering, misma que fue reemplazada, posteriormente, por los pueblos mongoloides de los cuales descienden los amerindios, o que un grupo de personas europeas de la Edad de Piedra habría cruzado el Océano Atlántico muchos milenios antes que Cristóbal Colón o los vikingos, para luego extinguirse. Un sitio arqueológico brasileño, cuya larga secuencia cultural se remonta al parecer hasta 32 000 años AP, lo mismo que Monteverde, cuya ocupación pudo ser incluso anterior, pues se remonta a 33 000 años AP (Dillehay y Collins, 1988), también pudieran indicar que hubo ocupaciones muy anteriores, pero hacen falta nuevos estudios. Desde luego, si hubo ocupaciones tan tempranas, quizá sea necesario revisar nuestra percepción de qué tan prístinos son los ecosistemas actuales de ALC.

Pero volviendo a los amerindios, se estima que la ocupación inicial de la caverna de *Pedra Pintada*, cerca de Monte Alegre, Pará, Brasil, pudo haber ocurrido entre 11 200 y 10 500 años AP, y las excavaciones del sitio han descubierto restos carbonizados de frutos, madera y animales, lo que pone de manifiesto una economía de recolección de muy amplio espectro en el bosque tropical húmedo y los ambientes ribereños (Roosevelt y cols., 1996). El asentamiento humano más antiguo que se conoce en la Amazonia se remonta a 11,000 años AP (Denevan, 2007). Las investigaciones arqueológicas realizadas en Canimar Abajo, Cuba, han confirmado que las Antillas Mayores estaban habitadas por grupos humanos desde 7 000 años AP (Peláez, 2008).

Se estima que poco antes de la colonización europea, es decir, entre 400 y 500 años AP, ALC estuvo habitada por entre 55 y 150 millones de amerindios, lo que debió representar alrededor de 20% de la población mundial en el siglo XV (Chaunu,

1969). En general, la diversidad cultural de la región es una de las más prominentes del mundo, como se observa, por ejemplo, en su diversidad lingüística, un factor muy importante porque las lenguas son el componente fundamental de la cultura y la identidad. Hasta antes del primer contacto con los europeos, en América Latina se hablaban miles de dialectos, lenguas e idiomas.

Los amerindios supervivientes pertenecen a 400 etnias, que representan 34 familias lingüísticas y dos grupos lingüísticos especiales (Montenegro y Stephens, 2006), y constituyen apenas 1.6% de la población mundial y 7% de la población actual total de ALC. Hoy, las etnias indígenas más numerosas se encuentran en México, Guatemala y Brasil, y en los países andinos de Bolivia, Perú y Ecuador. Actualmente, tan sólo en Brasil existen 226 etnias, con un total estimado de 0.6 millones de personas (ca. 0.2% de la población brasileña), quienes viven principalmente en sus tierras nativas y hablan 180 dialectos. Mesoamérica es un territorio de notoria diversidad cultural, como se aprecia en la diversidad de sus dialectos y lenguas, que asciende a más de 250, y de éstas, 240 están presentes en México (Toledo, 1995). Los dialectos y lenguas que hablan los 50 grupos étnicos que se distinguen en México incluyen muchas variantes; por ejemplo, existen 16 variantes del náhuatl (el idioma de los aztecas), 33 del mixteco y 14 del chinanteco. Si bien es cierto que tal diversidad cultural es notoria, representa apenas los restos de una riqueza mucho más vasta: según se estima, después de la llegada de los conquistadores españoles había alrededor de 100 grupos étnicos, lo cual sugiere que deben haber existido originalmente entre 400 y 500 dialectos, lenguas e idiomas. En el momento del contacto con los europeos, la región del Caribe estaba poblada principalmente por dos etnias amerindias: los taínos (también llamados arahuacos), que se asentaron originalmente en las llamadas Islas de Barlovento y Sotavento (Antillas Menores), desde donde colonizaron las Antillas Mayores y las Bahamas; y los caribes, que procedían de la parte continental de Venezuela y habitaron las Antillas Menores. *Por lo tanto, la marca cultural de los amerindios está profundamente impresa en ALC.*

Inicialmente, los medios de subsistencia de los amerindios precolombinos que ocuparon la mayor parte de la región dependieron de las relaciones difusas, y espacial-

mente extensas, que aquellos tuvieron con la tierra y el mar, mismas que se expresaban en forma de caza y recolección, agricultura trashumante, y pesca en aguas dulces y saladas. Posteriormente, durante el Holoceno, dichos medios evolucionaron hacia la agricultura formal, la domesticación de animales, y la manipulación de bosques y otros ecosistemas para obtener alimentos, bienes y servicios (Stahl, 1996; Toledo y cols., 2003), hasta llegar finalmente al desarrollo de asentamientos permanentes. Algunos grupos, como los habitantes de la Tierra del Fuego, en el extremo austral de Sudamérica, dependían principalmente de la caza de mamíferos marinos y de un camélido, el guanaco. Según se estima con base en los datos moleculares sobre la domesticación del maíz en las tierras altas de México (Matsuoka y cols., 2002), tanto la domesticación como el cultivo empezaron a desarrollarse 9 100 años AP, para luego expandirse hacia las tierras bajas de México, América Central y el norte de Los Andes. Es probable que varias plantas domésticas hayan sido cultivadas en Panamá y la Amazonia colombiana entre 7 000 y 10 000 años AP (Denevan, 2007). Algunas investigaciones recientes de datación por C14 (Dillehay y cols., 2007) indican que el cacahuate (*Arachis* sp.), la calabaza (*Cucurbita moschata*) y el algodón (*Gossypium barbadense*) se cultivaron en un valle andino cubierto de selva baja caducifolia, entre 9 240 y 5 500 años AP. Sin embargo, no existe consenso en lo referente a la intensidad y amplitud espacial de esos tipos de aprovechamiento de los recursos, tanto terrestres como marinos, en las diversas partes de la región, como tampoco lo hay en el tema de su impacto ambiental precolombino. A medida que se descubren nuevas evidencias, todo parece indicar que varias regiones de la Cuenca del Amazonas fueron ampliamente utilizadas. En fechas recientes, Heckenberger y cols. (2008) describieron los patrones de asentamiento y uso del suelo, en vísperas del contacto europeo, de las sociedades complejas de la región del alto Xingú, en el sur de la Amazonia brasileña, representadas por conjuntos de poblados, aldeas y caseríos, dotados de redes de caminos bien planeadas y asociados con cultivos de yuca (tapioca) y campos silvícolas, una especie de “ciudades jardín”. Posteriormente, las selvas amazónicas volvieron a cubrir los asentamientos abandonados. Estos hallazgos vienen a sumarse a un conjunto de pruebas, cada vez mayor, en contra del supuesto estado prístino del Amazonas.

El registro arqueológico contiene evidencias de uso del fuego, la construcción extensiva de terrazas, los sistemas de riego en zonas áridas, los campos elevados y el desarrollo de sitios de tierra negra indígena en los bosques tropicales del Holoceno (Stahl, 1996). Los pueblos indígenas utilizaron el fuego no sólo para desmontar terrenos de cultivo en las regiones tropicales, sino también para cazar aves grandes como el ñandú, y mamíferos como el guanaco, en las estepas patagónicas. Las investigaciones arqueológicas y paleobotánicas efectuadas en Brasil indican que, entre 10 000 y 8 600 años AP, hubo una intensificación de las prácticas relacionadas con el aprovechamiento de las plantas, y un aumento del impacto humano directo sobre el medio ambiente (Piperno y Pearsall, 1998). Tales prácticas dieron por resultado formas de horticultura en las que destacaban sobre todo los tubérculos nativos y las plantas productoras de semillas, pero pudo incluir también la plantación o el manejo intencional de ciertos árboles. En épocas pasadas, varios árboles frutales nativos fueron domesticados e incorporados a los sistemas agrícolas prehistóricos. Al parecer, los principales productos de los sistemas agrícolas primitivos del Neotrópico eran cultivos de raíces o tubérculos ricos en carbohidratos, con los árboles como elementos secundarios (Piperno y Pearsall, 1998). Algunos de esos mismos estilos de vida caracterizan, hasta la fecha, a las etnias indígenas de México, Centroamérica y la cuenca del Amazonas.

Invasión europea

A partir de 1492, a medida que los países europeos reivindicaron su dominio sobre la mayor parte de las "Américas", varias materias primas de ALC, como el oro y la biodiversidad, llegaron a transformar las economías de Europa y la alimentación del mundo, respectivamente. A diferencia del impacto relativamente bajo que los pueblos indígenas ejercieron en los bosques y otros hábitats de ALC, la invasión europea durante los siglos XVI y XVII desató una oleada de destrucción de ecosistemas para abrirle espacio a pastizales inducidos y campos de cultivo. Para el siglo XVIII ya había surgido una variedad de estilos coloniales en los países del Atlántico y el

Pacífico (Dewald, 2004). Al concluir el periodo de la minería del oro, la mano de obra esclava africana sirvió para producir los bienes más codiciados e importantes del comercio transatlántico y europeo: azúcar, café (una planta introducida), algodón y cacao del Caribe. Según se estima, entre los siglos XVI y XVIII llegaron 3.6 millones de esclavos africanos tan sólo a Brasil.

La parte occidental del Océano Atlántico quedó salpicada de factorías comerciales, plantaciones, poblados y asentamientos urbanos (Dewald, 2004), lo que dio por resultado la fragmentación de muchos ecosistemas naturales. Por ejemplo, el cultivo de caña de azúcar, que empezó en Cuba entre 1772-1791, dio por resultado extensos desmontes forestales. En Puerto Rico, 90% de la isla había sido deforestada y estaba cubierta por ca. 365 000 ha de cafetales hacia la década de 1920. En el extremo templado, durante el siglo XIX, se recurrió en Chile y Argentina a las quemadas forestales masivas como una forma de expansión y dominio territorial. Este uso destructivo de la tierra, intensificado por el comercio, acabó por penetrar profundamente en las tierras bajas de las latitudes tropicales de ALC, dando por resultado uno de los problemas ambientales más graves y complejos de nuestro planeta, como se observa hoy en el Amazonas. Al mismo tiempo, la opresión europea y el contagio de enfermedades redujeron muchísimo la población indígena.

La década de 1970 vio el inicio de un segundo e importante periodo de asalto a los ecosistemas de ALC, impulsado por el cambio de la agricultura, la silvicultura y la pesca de mediana escala, a empresas intensivas de gran escala basadas en un número limitado de especies. Entre los ejemplos más notorios de este periodo están la producción de soya en Brasil y Argentina, que hoy representa 39% del abasto mundial (FAO, 2007); la producción de caña de azúcar en Brasil, estimulada por la necesidad de encontrar energéticos alternativos (el 31% del total mundial; FAO, 2007); y las plantaciones de pino y eucalipto de Chile, Argentina, Brasil y Uruguay (que ascendían colectivamente a más de 12 millones de hectáreas en 2005 y ya sumaban 9.8 millones de hectáreas en 1999; FAO, 2005); por lo general en detrimento de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad, como veremos más adelante.

2.1.4. Tendencias demográficas y urbanas

Durante la segunda mitad del siglo pasado, en forma paralela a los cambios en los patrones del uso del suelo, ALC atestiguó un aumento en la tendencia a la migración del campo hacia las áreas urbanas en busca de nuevas oportunidades, educación y mejor calidad de vida en general. Entre 1950 y 2005, la población urbana de la región se elevó de 41 a 77.5%, lo que contrasta marcadamente con la tendencia mundial general (un 51.4% en 2005). En términos numéricos, este grado de migración ha significado la sextuplicación de la población urbana de ALC en poco menos de medio siglo.

La población actual de la región se ubica en 579.4 millones, lo que representa 8.6% de la población mundial. Para 2009, la población humana total de ALC habrá aumentado, según se estima, en más de 170 millones respecto de la de 1985. Según el cálculo que hizo la División Demográfica de la ONU en 2006, para 2050 habrá en ALC 769 millones de seres humanos. De acuerdo con las proyecciones de la ONU, la población urbana pudiera ascender a 88.8% en 2050, lo que alcanzaría los 682.5 millones, cifra que excederá la población total de ALC en 2008. Al mismo tiempo, la población rural proyectada para 2050 será inferior a la registrada en el año 1950. Como dato notorio, en sentido relativo, el número de personas que vivirán en los entornos rurales de la región será proporcionalmente inferior a la población rural actual de los países desarrollados.

En el contexto de este informe, algo particularmente significativo es que la migración hacia los centros urbanos de América Latina ha confluído principalmente en las mayores urbes, de modo que cuatro de las 19 megaciudades del globo (>10 millones de habitantes) reconocidas por la ONU a principios del siglo XXI, ahora se encuentran en ALC (Ciudad de México, São Paulo, Buenos Aires y Río de Janeiro). La Ciudad de México tiene entre 19.2 y 22 millones de habitantes (dependiendo de la superficie considerada y de la fuente consultada), mientras que la población de São Paulo oscila entre 19.2 y 20.6 millones, lo que ubica a estas ciudades en tercero y séptimo lugar, respectivamente, entre los 10 conglomerados urbanos más

poblados del mundo. En paralelo a la migración hacia los gigantes urbanos, la migración de México y otros países latinoamericanos hacia Estados Unidos se multiplicó en 15 veces, de unos 760 000 en 1970, a 11 millones en 2004, lo que representa una tasa promedio de cerca de medio millón de personas al año. El proyecto GEO-4 identificó el crecimiento de las ciudades como uno de los principales problemas regionales de ALC. De las familias que viven en ciudades, alrededor del 39% se encuentra por debajo del umbral de pobreza. Alrededor del 54% de las “familias en pobreza extrema” habita en ciudades (United Nations Environment Program, 2007).

Cabe agregar que, en pleno siglo XXI, el desarrollo económico de ALC continúa a la zaga respecto al de los países desarrollados, y existen grandes diferencias tanto entre los países como entre sus regiones internas. Según las estadísticas del Banco Mundial para 2007, la media del PIB per cápita de cada país era de 6 680 dólares anuales, pues oscilaba desde un mínimo de 1 050 dólares en Haití, hasta un máximo de 14 500 dólares en Chile. Si se tienen en consideración las diferencias demográficas de los países, la media del PIB per cápita asciende en la región a poco más de 9 000 dólares.

2.1.5. Diagnóstico y retos

Con base en nuestra breve sinopsis histórica y demográfica, se pueden apreciar tres tendencias significativas relacionadas con las ciencias de la biodiversidad y los objetivos del presente documento.

Primera: Por lo común se acepta que el exterminio o la reducción de los grupos indígenas debido a las epidemias desatadas por la europeización de ALC significaron pérdidas significativas de conocimientos culturales sobre el aprovechamiento sustentable y el equilibrio ecológico de la biodiversidad de la región, así como del modo en que los pueblos indígenas percibían la naturaleza en general.

Segunda: La mentalidad expansiva de los colonos europeos, aunada a la introducción de las prácticas de uso agrícola del suelo del Viejo Mundo, suplantó la anterior

percepción social amerindia de los ecosistemas naturales de ALC, que era la de un sistema esencial de soporte vital, por la de un enemigo al que había que dominar o conquistar.

Tercera: La intensificación más reciente de la agricultura y la pesca, que se basa en una cantidad limitada de cultivos y árboles mayores, genéticamente depauperados, y se suma a la tendencia migratoria hacia las grandes ciudades, ha distanciado aún más a los habitantes humanos de ALC de sus ecosistemas naturales. Aunque esta última tendencia no sea privativa de ALC, resulta notoria por su extraordinaria intensidad en lo que, según demostraremos, es la región más biodiversa del mundo y cuya variedad biológica, por consiguiente, posee un valor científico y socioeconómico excepcional.

Cuarta: En el ámbito político, el hecho de que el desarrollo económico de ALC continúe a la zaga tiende a traducirse en la noción perversa de que los métodos actuales de uso del suelo serán necesarios hasta que se llegue al nivel de los países desarrollados. Una consecuencia evidente es que la región esté en busca agresiva de mercados internacionales para muchos productos que continúan basándose en el aprovechamiento extractivo de recursos naturales o el manejo inadecuado de las tierras y el mar donde se producen. Como se verá más adelante en esta evaluación, el aprovechamiento no sustentable de los recursos naturales y los ecosistemas, que se considera una de las principales fuerzas impulsoras de la extinción de la biodiversidad, está lejos de ser controlado.

Los puntos anteriores nos presentan serios retos:

- Urge completar el rescate de los conocimientos locales sobre la biodiversidad de ALC, con su gran variedad cultural, es decir, su *diversidad biocultural*, antes de que desaparezca bajo los cielos urbanos.
- La creciente población urbana debe recibir educación sobre la biodiversidad, a fin de aumentar el poder de gestión de la ciudadanía cuando llegue el momento de exigir sus derechos en materia ambiental.
- Es necesario desarrollar actividades económicas basadas en el aprovecha-

miento sustentable de la biodiversidad como un medio de mantener (o regresar) a la gente en el medio rural o en ciudades más chicas.

Será necesario convencer a los gobiernos de que la pérdida de biodiversidad en cualquier nivel, desde el génico hasta el ecosistémico, va en detrimento de los mejores intereses de la región.

2.2. BIODIVERSIDAD DE ALC

2.2.1. Interrogantes

¿Cuánta biodiversidad existe en ALC, y en qué partes de la región se concentra su capital natural? ¿Existen motivos para creer que ciertas partes de la región son más valiosas que otras en lo que se refiere a biodiversidad y servicios ecosistémicos? ¿Cuál es la situación actual de ALC en el campo general de la investigación sobre biodiversidad? ¿Cuáles son las principales falencias de nuestros conocimientos científicos y los mayores obstáculos que nos impiden cubrirlas?

La respuesta a la primera pregunta no es fácil, dado que los diversos países de la región poseen grados de desarrollo científico sumamente distintos. Es justo afirmar que, en general, el principal objetivo de la investigación sobre biodiversidad realizada en ALC durante los últimos 20 años sigue siendo la exploración y documentación de la biodiversidad en los ámbitos nacionales, aunque ha habido, no obstante, notorias incursiones en otras áreas de las ciencias de la biodiversidad en los países más desarrollados. El nivel de nuestros conocimientos básicos no es suficiente para detectar los patrones subregionales y regionales de distribución de la biodiversidad y para ubicar a ALC en el ámbito mundial. Por consiguiente, en lo que veremos a continuación utilizaremos nuestros conocimientos sobre *diversidad de divisiones biogeográficas*, *diversidad de ecosistemas*, *diversidad de especies*, *formas de vida* y *grupos funcionales*, *concentración de organismos endémicos* y *agrobiodiversidad* asociada a la diversidad cultural, para caracterizar la biodiversidad de ALC. De un tiempo a

la fecha, el máximo interés se ha concentrado en la detección de las llamadas *áreas críticas de biodiversidad* (también conocidas como "*hotspots*" o *ecorregiones terrestres prioritarias*) y los *últimos bosques*. En tales estudios, se combinan descriptores de la biodiversidad, como su riqueza o endemismo, y su valor ecosistémico, con otros parámetros de interés, como su grado de amenaza o su importancia, en términos de almacenamiento de carbono, aprovisionamiento de agua, etc. Estos últimos descriptores pueden considerarse como un preludio al desarrollo de métricas descriptivas de la biodiversidad con mayor valor de integración.

En lo que respecta a las áreas de conocimiento de la biodiversidad, *diversidad de interacciones*, *filogenética molecular*, *secuenciación genómica* y estudio de los *servicios ecosistémicos de la biodiversidad*, se verá que, en cada caso, las semillas ya fueron sembradas.

También será evidente que los conocimientos sobre los ecosistemas terrestres de ALC están mucho más completos que los de los ecosistemas marinos y de agua dulce. En general, la base de conocimientos sobre la biodiversidad marina (*genomas*, *especies* y *ecosistemas presentes en regiones definidas*) es inversamente proporcional a la profundidad de los océanos del mundo. La brecha que separa nuestros conocimientos sobre la biodiversidad terrestre, en comparación con la biodiversidad marina y de agua dulce, representa uno de los mayores retos para la investigación de la biodiversidad en ALC.

2.2.2. Diversidad de divisiones y provincias biogeográficas

Las divisiones biogeográficas reflejan la historia evolutiva distal, es decir, lo que pudiésemos llamar la memoria genética de una región. Si se consideran los hábitats terrestres y marinos de las ocho divisiones mayores que gozan de amplia aceptación entre los biogeógrafos (Pielou, 1979), ALC ocupa por completo la Ecozona Neotropical, más una parte del norte de México, que pertenece a la Ecozona Neártica. Morrone (2001) desarrolló un esquema biogeográfico integral que agrupa información sobre plantas y animales. En éste se reconocen tres regiones biogeográficas mayores en ALC: Neárti-

ca, Neotropical y Andina. La Ecozona Neotropical se divide en cuatro subregiones (Caribeña, Amazónica, Chaqueña y Paranaense); asimismo, la Ecozona Andina se divide en cuatro (Páramo-Púnica, Chilena Central, Subantártica y Patagónica). La Ecozona Neártica consta de cinco provincias biogeográficas, la Neotropical tiene 50, y la Andina 15, es decir, un total de 70 provincias biogeográficas bien definidas. Existen otros esquemas biogeográficos de ALC, algunos de los cuales se basan exclusivamente en las plantas, mientras que otros lo hacen en los animales, con distintos grados de coincidencia. Pero más allá de esas diferencias, que aluden en cierto sentido a un problema de investigación específico *per se*, es indudable que la diversidad de las regiones biogeográficas de ALC es muy alta. Desde luego, eso es predecible si se considera el desarrollo paleogeográfico de la región y el aumento de la compartimentalización ambiental durante los últimos 100 MA, como ya se explicó.

2.2.3. Diversidad de ecosistemas

Según las clasificaciones generales a nivel de bioma, los hábitats terrestres de ALC abarcan, con excepción de la tundra (un bioma típicamente boreal, ubicado al norte de la taiga), todos los biomas mayores del planeta, sin importar las variaciones en la nomenclatura o el sistema de clasificación de los mismos. No obstante, algunos expertos consideran que las formaciones vegetales de las ciénagas deforestadas del extremo sudoccidental de América del Sur equivalen a la tundra (Pisano y Dimintri, 1973).

La región cuenta con doce biomas mayores (Figura 1) que incluyen los extremos del gradiente de precipitación pluvial, desde los bosques húmedos tropicales perennifolios del Chocó colombiano (cuya precipitación anual supera los 10,000 mm) hasta los desiertos hiperáridos de la región de Atacama, en el norte de Chile (con regímenes de precipitación media de apenas 0.5 mm en el periodo 1993-1996, y cero precipitación pluvial en el periodo 1856-1858). Del mismo modo, los biomas terrestres abarcan por completo el gradiente altitudinal, desde manglares al nivel del mar, hasta pastizales “templados” ubicados en altitudes de más de 5 000 m.s.n.m. en la

puna del sur de Perú y Chile. El bosque húmedo tropical ocupa 44% de la región (Figura 1), lo que representa la mayor ecorregión ocupada por dicho bioma en la Tierra. Aunque el bosque húmedo tropical alcanza su máxima expresión en la Amazonia, también abarca latitudes mayores y llega al punto más septentrional de su distribución mundial en San Luis Potosí, México, donde se le encuentra en ecotono con biomas semiáridos en el paralelo 23°N (Rzedowski, 1994). El siguiente lugar en cobertura le corresponde al bioma de pastizal-sabana (16.4%), seguido por los desiertos áridos y semiáridos (11.3%), los bosques tropicales caducifolios (8.8%) y los pastiza-

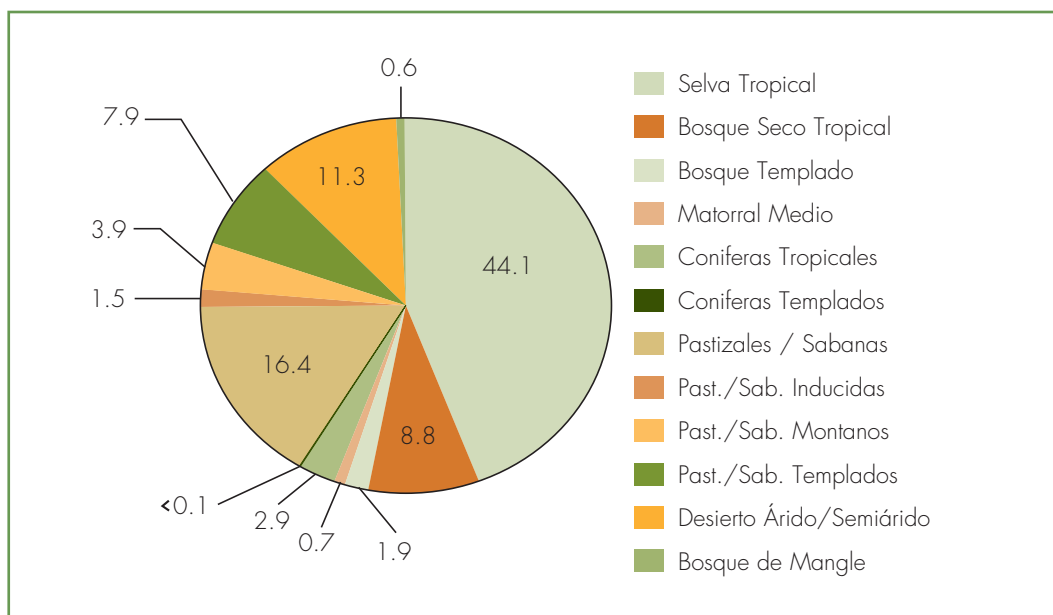


Figura 1. Los principales biomas de la región de América Latina y El Caribe y su representación relativa. Los códigos que aparecen a la derecha del diagrama corresponden, de arriba hacia abajo, a: bosque húmedo tropical, selva baja caducifolia, bosque templado, vegetación arbustiva de tipo mediterráneo, bosque de coníferas tropical, bosque templado de coníferas, pastizal/sabana natural, pastizal/sabana inducida, pastizal/vegetación arbustiva montana, pastizal/sabana templada, desierto árido y semiárido, manglar.

Datos tomados de diversas fuentes citadas en la bibliografía.

les y las sabanas templadas (7.9%). Los biomas restantes abarcan, individualmente, menos de 4% de ALC. Nos referimos al pastizal y matorral de montaña (3.9%), al bosque templado latifoliado y de coníferas (2% entre ambos) y al bosque tropical de coníferas (2.9%). Aunque los manglares están ampliamente distribuidos en los ambientes estuarinos de las costas intertropicales, abarcan apenas 0.6% del territorio, debido a sus restricciones espaciales y su selectividad ambiental. Dada la diversidad de biomas mayores presentes en la región, resulta difícil encontrar otro lugar del planeta que pueda compararse con la diversidad de biomas y tipos de vegetación de ALC, con la posible excepción del subcontinente Indio, una región cuya enorme complejidad topográfica y heterogeneidad ambiental se traduce, igualmente, en un mosaico muy diverso de tipos de ecosistemas.

Aunque la anterior descripción de los biomas resulta útil para formarse una idea general de la diversidad de ecosistemas en ALC y ubicar la región en el escenario global, su utilidad se ve limitada cuando se intenta encontrar patrones de biodiversidad, objetivos de conservación y servicios ecosistémicos más específicos a nivel de cuencas hidrológicas, pues casi todos esos biomas mayores representan un mosaico de variantes del mismo tema, lo que define unidades de vegetación diferenciables (por su fisonomía y ritmos fenológicos) asociadas con ambientes físicos más definidos. De hecho, el uso futuro de la clasificación general de los biomas pudiera ser contraproducente cuando se trata de evaluar necesidades de conservación. Un ejemplo de esto es el bioma del bosque tropical húmedo, que se manifiesta como selva húmeda subperennifolia, selva subcaducifolia y palmares (p. ej., los palmares de *Sabal* en condiciones edáficas específicas) en las tierras bajas, pero como bosque tropical mesófilo a mayor altitud; sin embargo, puesto que existen grandes diferencias en las labores de conservación de esos tipos forestales húmedos, sería engañoso hablar del esfuerzo de conservación de todo el bioma. La misma variación ecológica se puede aplicar en casi todos los otros biomas mayores de la región.

El hecho de reconocer que los biomas son demasiado generales para hacer investigaciones comparativas detalladas sobre la biodiversidad de ALC, ha motivado intentos de clasificación de los ecosistemas terrestres en un nivel más fino. Una de tales

iniciativas es la que realiza actualmente NatureServe. Aquí, los sistemas ecológicos terrestres se definen como conjuntos de tipos de comunidades vegetales que están presentes, de modo simultáneo, en ambientes terrestres con procesos ecológicos, sustratos o gradientes ambientales similares. Las divisiones ecológicas son ambientes terrestres subcontinentales resultantes de una historia climática y biogeográfica. Hasta el momento, se han identificado cerca de 700 tipos de ecosistemas, agrupados en 23 divisiones ecológicas mayores, lo que significa 30.7 ecosistemas/millón de km² (Josse y cols., 2003). Esta última cifra aumentará con la inclusión de las pampas y la Patagonia. Según estos criterios, en ALC existen unos 512 ecosistemas predominantemente forestales, arbóreos o de matorral (71% del total); 198 predominantemente herbáceos, de sabana o estepa arbustiva (28%); y 17 escasamente vegetados (2%). Para ubicar y comparar a ALC por medio de la misma metodología, en Canadá y Estados Unidos se han identificado 600 tipos de ecosistemas en una superficie terrestre de 19.8 millones de km², es decir, 30.3 ecosistemas/millón de km². Las cinco divisiones ecológicas más diversas de ALC son, en orden de importancia: la Región Húmeda Central Septentrional de Los Andes, la Región Árida Central Meridional de Los Andes, las Tierras Altas y Montañosas de Guyana, el Caribe, y el Cerrado. El país más diverso de ALC, en lo que a variedad de ecosistemas se refiere, es Bolivia, seguido por varios países tropicales como México y Perú. Sin embargo, todavía está por verse si se adopta este esquema en particular, cuyo mensaje implícito es: Una de las necesidades urgentes de la región es disponer de un marco de referencia ecosistémico integral que sea útil para múltiples fines, en lo que a investigación de la biodiversidad se refiere.

Con base en la escasa información destilada que logramos encontrar, la diversidad de ecosistemas de agua dulce rodeados de hábitats terrestres es notoria en ALC. En una evaluación sobre la conservación de la biodiversidad de agua dulce de la región, efectuada como parte de un taller realizado en Bolivia por el WWF y el BSP, en 1995 (Olson y cols., 1998), se identificaron nueve tipos de hábitats mayores y 117 ecorregiones. Once de tales ecorregiones (9%) fueron consideradas de relevancia mundial, en particular la cuenca del Amazonas, el sur del Orinoco, el Río Negro, el desierto de Chihuahua, los lagos de grandes altitudes del centro de México, los Llanos, la

cuenca de Guyana y las várzeas forestales del Amazonas. Otras 51 ecorregiones (44%) se consideran excepcionales dentro de la Ecozona Neotropical.

A gran escala, los hábitats marinos de ALC incluyen los siguientes ecosistemas como ejemplos: el gran ecosistema marino del Mar Caribe, un mar semiconfinado que abarca 2.5 millones de km² y es el segundo más grande del mundo. Es notorio por su abundancia de islas. El gran ecosistema marino de la plataforma continental del norte de Brasil debe su unidad a la corriente del norte de Brasil, que discurre paralela a las costas brasileñas y es una extensión de la corriente ecuatorial Sur, que viene del este. Éste se ve afectado de modo significativo por las aguas dulces y los sedimentos que le aportan los dos ríos más caudalosos de América del Sur: el Orinoco y el Amazonas. El gran ecosistema marino de la plataforma continental del oriente de Brasil está bajo la influencia total de la corriente ecuatorial Sur, una de cuyas ramas recorre las costas del norte de Brasil (la corriente del norte de Brasil), mientras la otra se dirige hacia el sur (corriente de Brasil) y abarca los arrecifes brasileños (Amaral y Jablonski, 2005), los pequeños archipiélagos de Fernando de Noronha, que son un lugar de arribo importante para muchas especies de tortugas marinas (Couto y cols., 2003), y Abrolhos, que es el parque marino más grande de Brasil y está cubierto de corales e inmensos arrecifes (Dutra y cols., 2005). El gran ecosistema marino de la plataforma continental del sur de Brasil, con su amplia plataforma submarina (de hasta 220 km), está bajo la influencia de la corriente de Brasil, que fluye paralela a las costas y es una ramificación de la corriente ecuatorial Sur. Incluye el afloramiento de aguas profundas de Cabo Frío, muy importante por su productividad (González-Rodríguez y cols., 1992), y los esteros de la segunda cuenca fluvial más grande de Sudamérica, la de los ríos Paraná-Paraguay-Plata. Desde el punto de vista económico, ésta es un área importante para la industria pesquera brasileña, sobre todo cuando las frías aguas centrales del Atlántico del Sur penetran en las zonas costeras (Matsuura, 1998). El gran ecosistema marino de la plataforma continental patagónica, con una superficie aproximada de 2.7 millones de km², se extiende desde Uruguay hasta el Estrecho de Magallanes y se amplía progresivamente hacia el sur, donde alcanza una anchura cercana a los 850 km. Está bajo la influencia de dos corrientes

marinas mayores impulsadas por los vientos: la corriente de las Islas Malvinas, que discurre hacia el norte; y la corriente de Brasil, que fluye hacia el sur (Bakun, 1993). Al igual que los ecosistemas terrestres, estas unidades ecosistémicas de gran escala son útiles con fines de comparación mundial, pero su utilidad es limitada en escalas más finas.

En el caso de Sudamérica, un estudio reciente logró identificar 28 ecorregiones marinas principales —la mayoría con base en los sistemas costeros— (Chatman, 2007) (Figura 2). Dichas ecorregiones son: a] dos ecorregiones marinas en el sector meridional del Mar Caribe; b] quince ecorregiones marinas en el Atlántico, y c] once ecorregiones marinas en el Pacífico. Estas ecorregiones marinas constan de hábitats marinos tan ricos como complejos, que incluyen los arrecifes coralinos tropicales ubicados principalmente en la Ecorregión Caribeña del Sur, en aguas venezolanas y colombianas. Las marcadas influencias fluviales de las costas de Brasil sobre las Ecorregiones Guyanesa y Amazónica se traducen en los extensos hábitats costeros ocupados por manglares de enorme riqueza faunística. Se observa una situación similar en las costas del Pacífico Central de Panamá, Ecuador y parte de las Galápagos. Las ecorregiones del Atlántico Central se caracterizan por la presencia de arrecifes de coral y por la influencia de los ríos Orinoco y Amazonas. En cuanto se refiere a recursos pesqueros de altamar, el área se caracteriza por la baja productividad de sus aguas. El extremo austral de Sudamérica presenta, por el lado del Atlántico, abundantes recursos pesqueros en sus aguas templadas y subantárticas, y extensas plataformas marinas costeras, mientras que el lado del Pacífico se caracteriza por sus mares interiores, fiordos y prístinos sistemas de canales. El centro y norte de Chile y las costas peruanas comprenden varias ecorregiones; aquí, una de las características más distintivas es la presencia de los sistemas activos de afloramiento de aguas profundas (sistema de Humboldt) y una elevada productividad previamente mencionadas.

2.2.4. Diversidad de especies

Luego de varios siglos de exploración por parte de científicos y naturalistas profesionales de los países de ALC, y de muchos otros rincones del mundo, nos hubiera gustado



Figura 2. Ecosistemas marinos de América Latina y El Caribe. Tomado de Chatwin (2007).

estar en posición de afirmar que la exploración de la biodiversidad de la región está completa en su nivel básico, es decir, el descubrimiento de especies. Sin embargo, la realidad es que nuestro conocimiento sobre los patrones de riqueza de especies de muchos grupos de organismos de ALC sigue incompleto. Además, en muchos casos, la información taxonómica no ha sido organizada de tal manera que sea útil para establecer comparaciones mundiales, regionales y subregionales. Aunque existe mucha información taxonómica, ésta no ha sido convertida al formato electrónico. Pero dondequiera que se haya realizado la conversión, los resultados han sido excelentes (p. ej., Soberón y cols., 2000). En el otro extremo, algunas bases de datos electrónicas georreferenciadas importantes y bien organizadas de la región aún no están accesibles por Internet, lo que entorpece el avance científico. En el lado positivo, puesto que muchas colecciones de ALC fueron organizadas durante los últimos 25 años, una elevada proporción de las muestras de muchos países cuentan con georreferencias. Un caso excepcional es Argentina, que fue explorada de modo intensivo en un periodo muy anterior. Desde luego, no es posible exagerar la importancia de las bases de datos georreferenciadas para la investigación de la biodiversidad.

Aquí, uno de los principales obstáculos es que la organización de bases de datos georreferenciadas requiere enormes esfuerzos por parte de los herbarios y museos chicos, mismos que no reciben a cambio ni el beneficio de una mención bibliográfica, pues las bases de datos no se consideran publicaciones científicas. A la vez, en ausencia de menciones bibliográficas es cada vez más difícil conseguir financiamiento para investigaciones en ALC, lo que redundará en un círculo vicioso. Así, en ALC sigue prevaleciendo el argumento de que no se debe exigir la publicación por Internet de especímenes georreferenciados, sino hasta que éstos hayan cumplido su propósito inicial, es decir, catalogar la flora o fauna de un país o una región. Resolver el problema de acceso a las bases de datos de biodiversidad es fundamental para el futuro de la investigación de la diversidad biológica en ALC.

Otro obstáculo evidente en la región es la escasez de taxónomos; es decir, de personal científico capacitado en el uso de claves técnicas para identificar, por ejemplo, las plantas, y redactar descripciones taxonómicas. En un artículo atractivamente

titulado "Biodiversidad y una taxonomía de los taxónomos chilenos", Simonetti (1997) demostró que la comunidad taxonómica de ese país está reducida al mínimo, pues varios grupos de instituciones carecen por completo de taxónomos. Según nuestros cálculos, en Chile sólo existen 0.004 personas/especie capaces de identificar plantas vasculares con certeza; y varias ya están jubiladas o a punto de hacerlo. Shepherd (2006) opina que si no se hace un gran esfuerzo por cambiar esta situación, la flora de la región amazónica seguirá inmensamente desconocida. De repetirse en la escala amazónica lo ocurrido en la Cordillera de la Costa Chilena, ubicada en el área crítica de biodiversidad de la región central de Chile, donde las plantaciones forestales sustituyeron enormes extensiones de vegetación nativa hasta reducirla a meros relictos, el mundo viviría una hecatombe de magnitud incalculable. A nivel de recolección de campo, Costa Rica ha atacado ingeniosamente su carencia de mano de obra reclutando parataxónomos (Janzen y cols., 1993). Los parataxónomos son un subconjunto del grupo más general de los llamados parabiólogos. Estos últimos, debidamente capacitados, pueden desempeñar tareas muy útiles, por lo que quizá debieran ser reclutados con mayor frecuencia en ALC. En Brasil, los científicos han capacitado habitantes locales para vigilar las poblaciones y el comportamiento fenológico de diversas especies de árboles frutales forestales de importancia económica (Shanley y Gaia, 2002). Sin embargo, cuando el equipo de taxónomos de un país ha llegado a su límite histórico más bajo, la mano de obra profesional puede resultar insuficiente hasta para capacitar parataxónomos y otros tipos de parabiólogos.

Como les consta a los biólogos, los conocimientos acerca de la biodiversidad dependen mucho de las escalas. En los hábitats terrestres de ALC, los grupos de vertebrados menos numerosos y más notorios son relativamente bien conocidos en los ámbitos regionales (y nacionales), pero eso depende de la existencia de bases de datos informativas por Internet, p. ej., InfoNatura (www.infonatura.org). En esta base de datos, se encuentran mapas de distribución, datos sobre el estado de conservación e información taxonómica de más de 5 500 especies de aves y mamíferos de ALC (Kareiva, 2001). La base de datos complementaria de *NatureServe* contiene mapas de distri-

bución de alta calidad, basados en datos de endemismos georreferenciados.

Aunque los conocimientos sobre la composición taxonómica y la diversidad de especies de plantas vasculares han aumentado muchísimo en los ámbitos nacionales y regionales durante los últimos 15 años, gracias al nutrido contingente de botánicos y ecólogos y a los programas de exploración intensiva, aún varían considerablemente de un lugar a otro de la región. En Sudamérica, la destacada escuela taxonómica de Argentina ha desarrollado excelentes guías de identificación comentadas para ese país, y acaba de completar, en colaboración con otras instituciones latinoamericanas y el *Missouri Botanical Garden*, un ejemplar Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur, que abarca Argentina, el sur de Brasil (los estados de Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul), Chile, Paraguay y Uruguay (Zuloaga y cols., 2008). Esta obra sin precedentes abarca casi todas las regiones subtropicales, templadas y frías de América del Sur, desde el Atlántico hasta el Pacífico (4.7 millones de km², equivalentes a 26% de la superficie terrestre total del subcontinente), y recoge 17 692 especies reconocidas, 43.5% de las cuales son endémicas. Otras guías de identificación y floras regionales de ALC están muy avanzadas, como La Flora de Mesoamérica; Perú, Ecuador, Chile y Panamá cuentan ya con guías de identificación completas, y se espera que la de Bolivia esté lista en breve. El hueco que persiste en ALC se refiere a que no se ha publicado una guía de identificación comentada que contenga los nombres reconocidos de la inmensa y diversa flora de Brasil (Giulietti y cols., 2005a, b). La elaboración de esa guía debe ser prioritaria en el programa de investigación.

En lo referente a invertebrados y organismos marinos (incluyendo las algas), en la mayoría de los casos aún no se dispone de guías de identificación regionales, y en muchos casos ni siquiera nacionales (sean impresas o electrónicas por Internet), tan siquiera para los grupos más notorios, como las abejas, que son polinizadoras de millares de especies de plantas y ofrecen un servicio ecosistémico a los cultivos agrícolas de ALC. Lo mismo cabe decir de los insectos acuáticos y de muchos grupos de escarabajos ecológicamente importantes, pues tienen gran valor como indicadores ambientales. En algunos casos, existen compendios nacionales de macrohongos. Si se

dedican tiempo y esfuerzo a buscar entre la literatura internacional, seguramente se encontrarán tales guías para muchos grupos, mismas que incluyen buena parte de la información básica necesaria para efectuar investigaciones de ecología y cambio climático.

Hasta donde sabemos, Chile (Simonetti y cols., 1995) y Brasil (Lewinsohn y Prado, 2005) son los únicos países de ALC que han publicado recopilaciones o estimaciones del total de especies descritas en todos los grupos (exceptuando los microorganismos, en el caso de Chile). Brasil posee un total estimado de 170 000 a 210 000 especies descritas y reconocidas (Lewinsohn y Prado, 2005), pero se considera que el total puede ascender a 1.8 millones de ellas, lo que nos da una idea del enorme trabajo de investigación básica pendiente. En Chile, un país esencialmente templado, se han descrito alrededor de 30 000 especies válidas y reconocidas en una superficie terrestre equivalente a 9% de Brasil (Simonetti y cols., 1995).

Desde el nivel nacional hasta el de la parcela individual, resulta muy difícil conocer con precisión la diversidad de especies de ALC, debido a la densidad de los muestreos, que varían considerablemente dentro de cada país, y de un país a otro. En uno de los primeros estudios cuantitativos de Chile, se demostró que había un patrón sumamente irregular en la diversidad de especies reflejada en los especímenes de dos importantes herbarios, y que persistían enormes huecos en algunas partes del país. Por desgracia, algunas de esas carencias de exploración jamás serán completadas con datos reales, pues la vegetación natural de muchas localidades ya fue prácticamente arrasada (Ricklefs y cols., 1995).

En el año 2000, Brasil poseía más de 600,000 especímenes de herbario procedentes de la región amazónica, lo que significaba un promedio de 0.133 muestras/km²; en comparación, los especímenes provenientes de la parte sudoriental del país (São Paulo, Río de Janeiro, Minas Gerais y Espírito Santo) ascendían a cerca de 1.7 millones, es decir, un promedio de 1.8 muestras/km² (Shepherd, 2006). No obstante, aunque el muestreo de los estados sureños de Brasil era bastante completo, los trabajos de recolección se habían concentrado principalmente en los alrededores de las ciudades más grandes (Figura 3). Una vez más, debemos recalcar la importancia

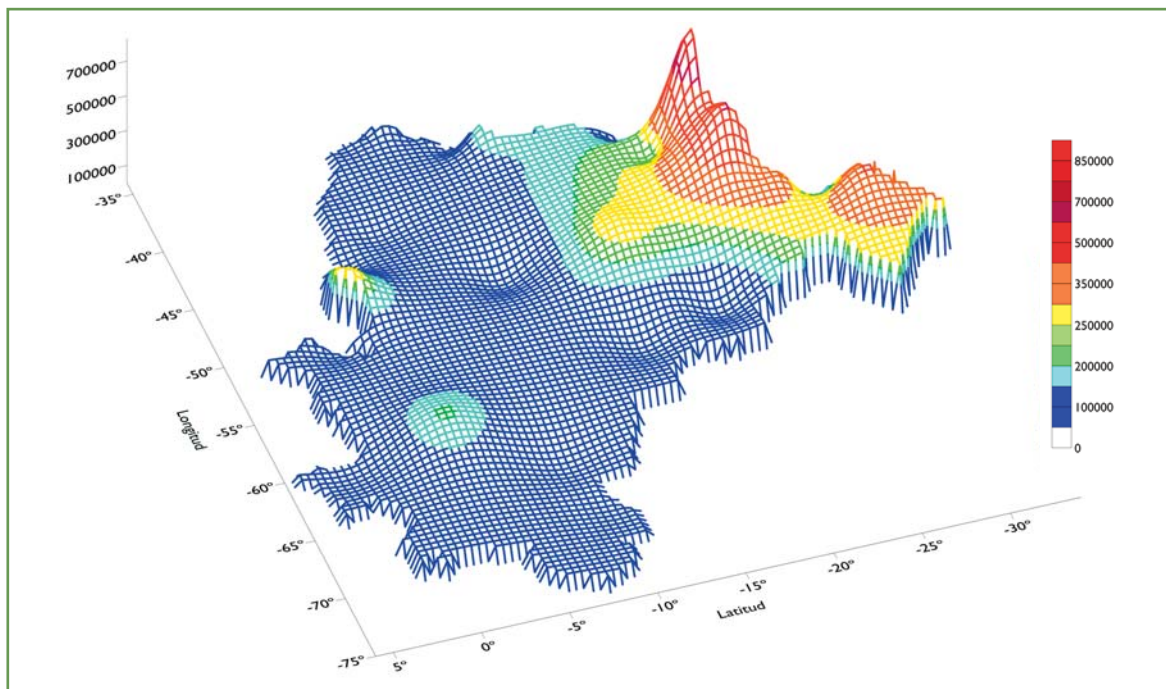


Figura 3. La enorme desigualdad en los trabajos de muestreo de plantas superiores en diversos estados y biomas de Brasil. Tomado de Shepherd (2002).

de las bases de datos georreferenciadas (con imágenes digitales) para completar los trabajos de exploración. Tales bases de datos permiten perfeccionar los trabajos de recolección, llenar los huecos y evitar duplicaciones en el muestreo, como se aprecia en los notorios avances logrados en la comparación de los conocimientos florísticos de la flora vascular de la región del desierto de Atacama entre 1970 y 2006 (Figura 4).

Diversidad regional de especies

Independientemente de las limitaciones anteriores, nuestros conocimientos bastan para asegurar que ALC posee una fracción significativa de la diversidad total de espe-

cies del planeta. En términos generales, la información existente sobre los hábitats terrestres indica que ningún otro continente es tan biodiverso como ALC. En la Figura 5 (paneles superiores) presentamos una perspectiva sintética y convincente de tal diversidad, desde el punto de vista mundial, mediante los números de especies de plantas vasculares y vertebrados recopilados por el Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación del PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). La diversidad de las plantas vasculares (Figura 5) subraya en particular ese

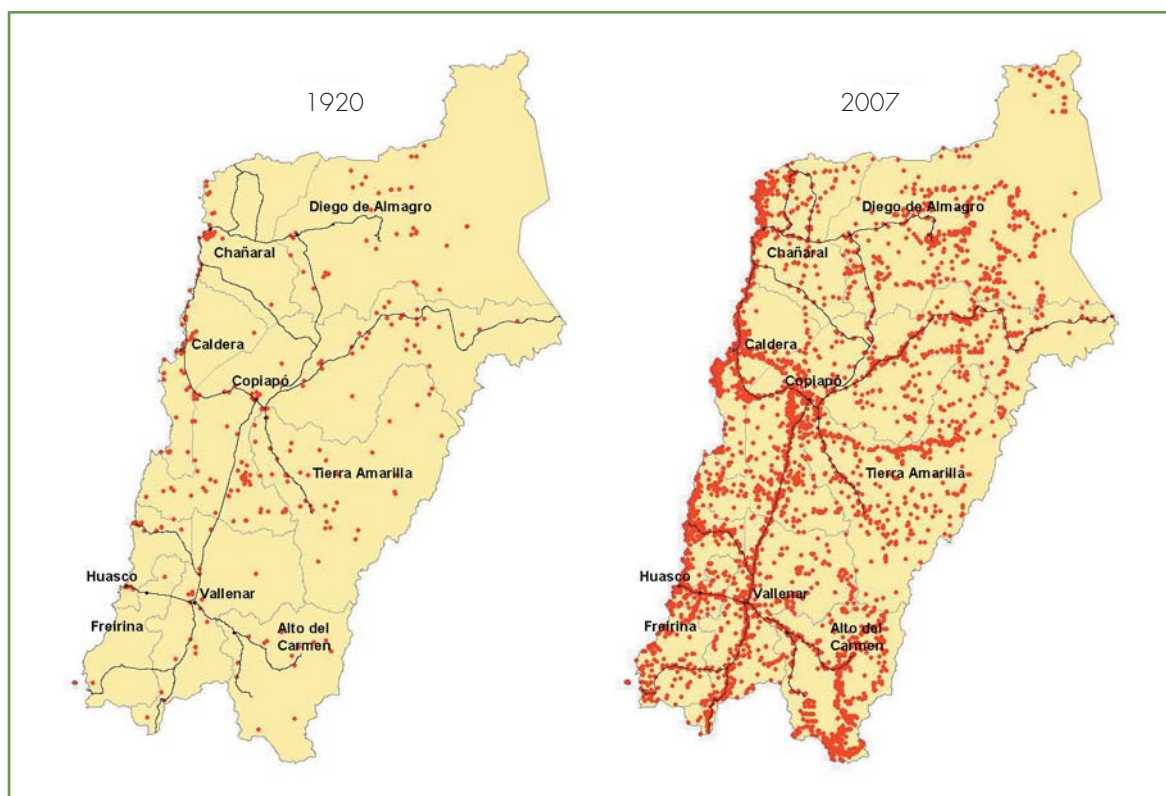


Figura 4. Comparación de los trabajos de muestreo de especies de plantas en la región chilena del desierto de Atacama (III), donde se aprecia el muestreo en dos momentos distintos.

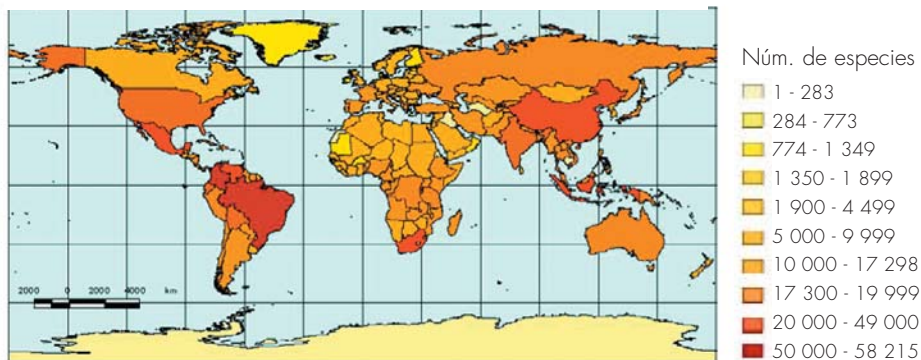
Cada punto representa un evento de recolección (Squeo y cols., 2008).

hecho: los países cuyos conjuntos florísticos superan las 17 300 especies son más frecuentes en AlC que en cualquier otro continente, y la región alberga, en forma colectiva, un total estimado de hasta 95 000 especies de plantas vasculares (32% del total mundial, que asciende a 300 000 especies, en sólo 9.6% de la superficie terrestre total); es decir, mucho más que Asia (35 000 especies) o África (45 000 especies), e incluso más que estos dos continentes unidos. Tal concentración de países biodiversos sólo encuentra ecos, si bien distantes, en Asia Meridional y en la vastedad de China. La situación de los mamíferos, anfibios, reptiles y aves es muy similar (Figura 5).

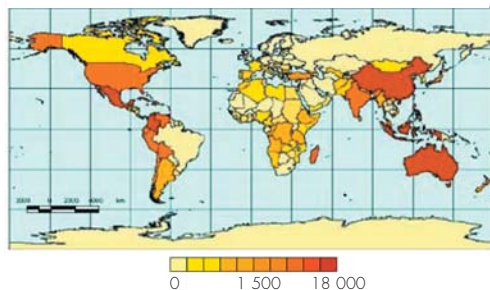
Ciertos grupos de vertebrados se caracterizan por su diversidad excepcional en Sudamérica, donde la información en el ámbito continental es más completa que en el caso de las plantas. Por ejemplo, de las 5 154 especies de anuros identificadas hasta la fecha, al menos 1 651 (32%) se encuentran en América del Sur y están representadas por 12 familias, cuatro de las cuales son endémicas. El subcontinente sudamericano posee alrededor de 20% de las especies de reptiles del mundo, y casi 33% de las especies de aves. Tan sólo en Colombia encontramos 19% de la avifauna mundial y 25% de la mastofauna terrestre (dato revisado en Meserve, 2007). Si se tiene presente que 75% de la mastofauna tropical sudamericana se extinguió a finales del Pleistoceno (Meserve, 2007), la diversidad actual de los mamíferos es notoria; una de las interrogantes científicas más fascinantes se refiere a las fuerzas que impulsaron tal grado de diversificación.

Según algunos expertos, el Neotrópico posee alrededor de 8 000 especies de peces, 2 000 de las cuales se encuentran tan sólo en la cuenca del Amazonas (Meserve, 2007). Los peces representan 22 000 de las 43 000 a 46 500 especies de vertebrados que Goombridge (1992) calculó. Pero aún dejando margen para un posible aumento de 50% en el número de especies de peces identificadas en el ámbito mundial, tanto marinas como de agua dulce (es decir, unas 33 000 especies), los peces sudamericanos de agua dulce (8 000 especies) seguirían representando 24% de la ictiofauna mundial. Además, los hábitats de agua dulce representan menos de 0.01% del agua del planeta y el sistema de agua dulce del Neotrópico abarca entre 25 y

A). Diversidad de plantas vasculares



Núm. de especies endémicas



Núm. de especies endémicas/total

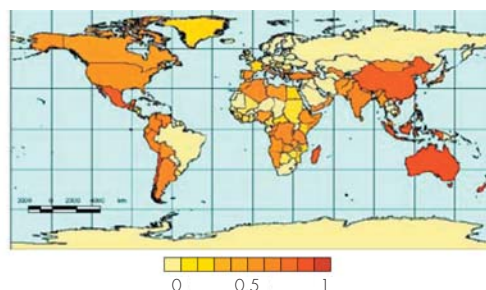
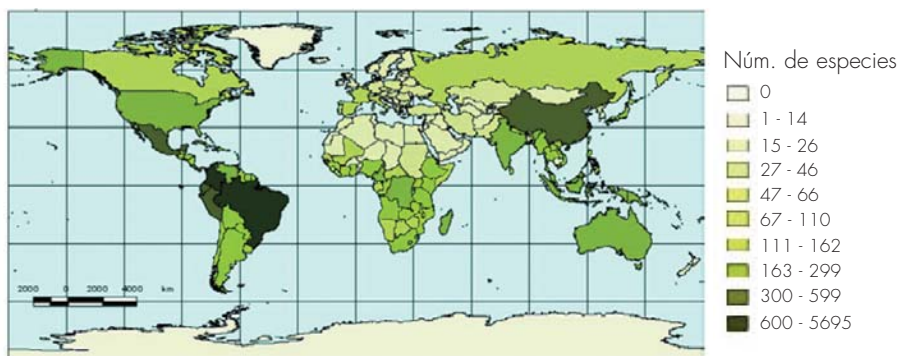
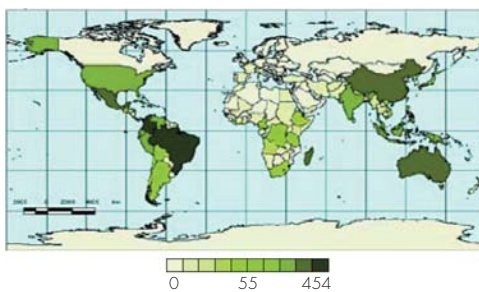


Figura 5. Distribución mundial de la diversidad de especies (número de especies por país) de plantas vasculares (A), anfibios (B), reptiles (C), aves (D) y mamíferos (E). Mapas modificados con base en los producidos por el World Conservation Monitoring Center.

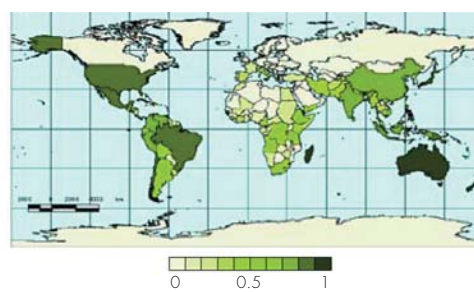
B). Diversidad de anfibios



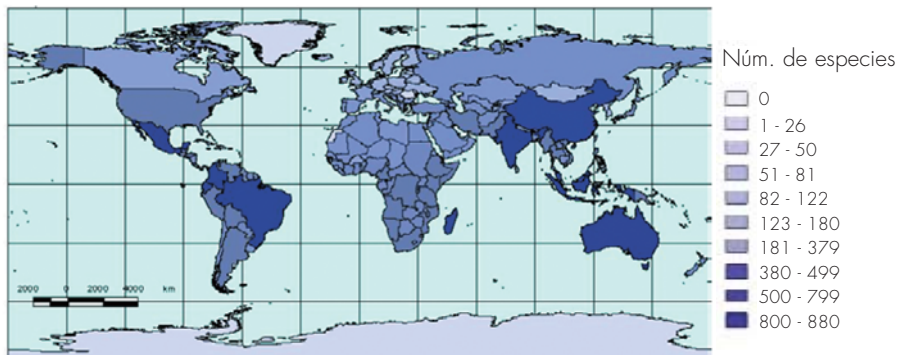
Núm. de especies endémicas



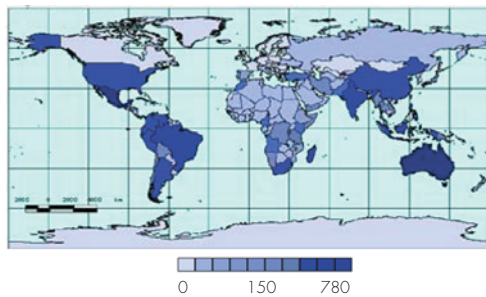
Núm. de especies endémicas/total



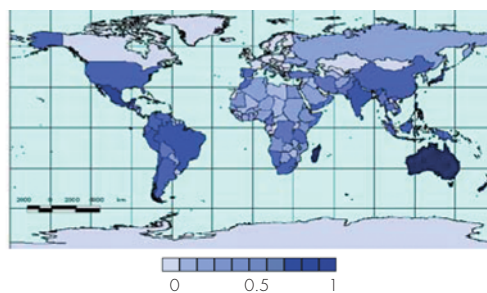
C). Diversidad de reptiles



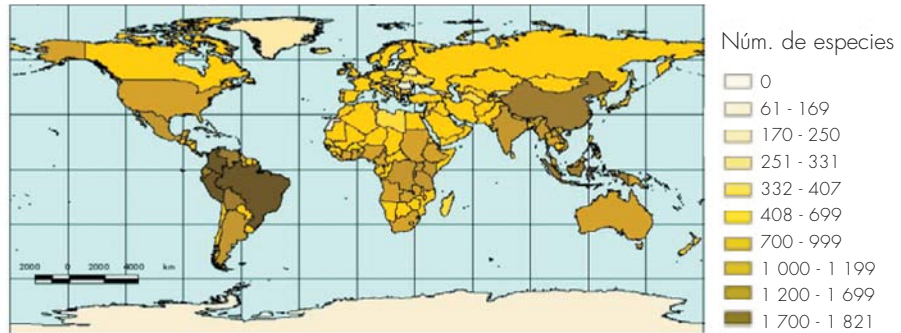
Núm. de especies endémicas



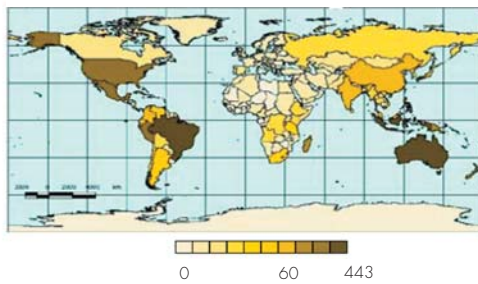
Núm. de especies endémicas/total



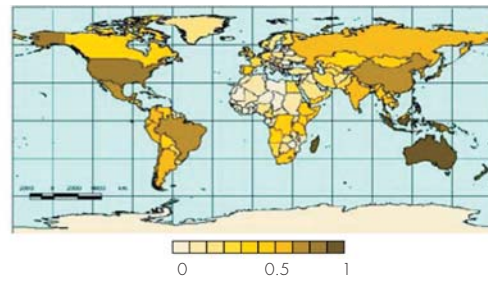
D). Diversidad de aves



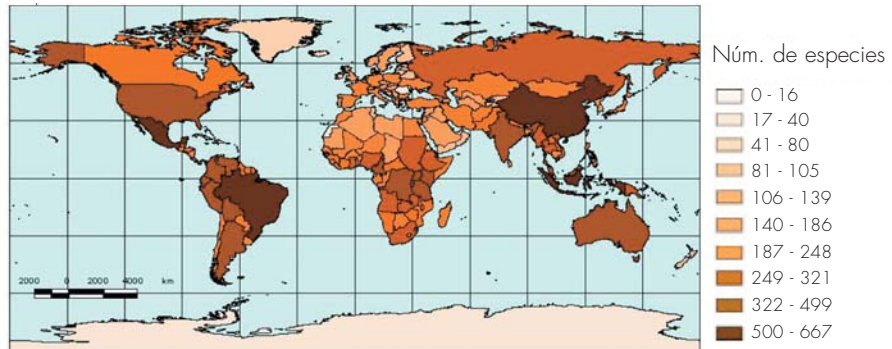
Núm. de especies endémicas



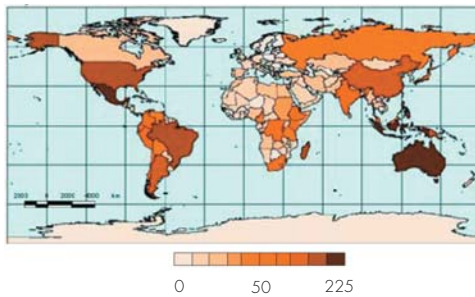
Núm. de especies endémicas/total



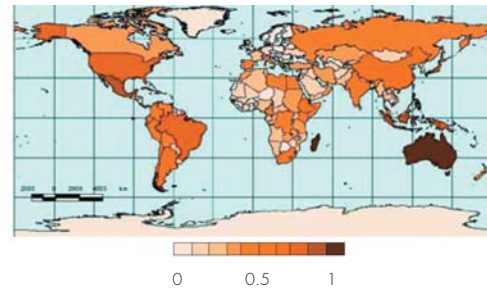
E). Diversidad de mamíferos



Núm. de especies endémicas



Núm. de especies endémicas/total



28% del total, es decir, apenas 0.0025 a 0.0028% del agua de la Tierra. En otras palabras, los peces de agua dulce neotropicales, que representan alrededor de 24% de la ictiofauna total y 12.5% de la biodiversidad total de los vertebrados, viven en menos de 0.003% del agua mundial (Vari y Malabarba, 1998; Sabino y Prado, 2006).

Desde luego, el número de expertos en biodiversidad de agua dulce de ALC es totalmente desproporcionado si se tiene en cuenta el nivel de tal diversidad, al grado que nos fue imposible encontrar un especialista en la ictiofauna regional de agua dulce para esta evaluación.

Ahora bien, si el análisis se basa en el número de especies por trabajo de muestreo, las tendencias de la biodiversidad son similares, como se aprecia en el caso de las plantas (véase a continuación), en el de los murciélagos entre los mamíferos, o en el de las mariposas y escarabajos entre los insectos. Por ejemplo, la fumigación del dosel forestal —técnica que se utiliza para calcular la diversidad de los artrópodos y establecer comparaciones confiables entre uno y otro sitio— ha revelado densidades de 1.17 y 1.15 especies/m³ en las muestras procedentes de Panamá y Perú, respectivamente; es decir, densidades mucho mayores que las observadas en Papúa, Nueva Guinea (0.29 especies/m³) o Australia (0.02 especies/m³) (véanse los detalles en Dirzo y Raven, 2003).

En la Figura 6 se presentan los países cuya biodiversidad de plantas vasculares y de vertebrados se mantiene constantemente alta. Este conjunto de países está formado por Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela en América del Sur, y México en América del Norte. Esta situación destaca otro aspecto de la importancia de ALC en el ámbito mundial, es decir, su concentración de los llamados países megadiversos (Mittermeier y cols., 1977; Sarukhán y Dirzo, 2001). Cinco países de ALC pertenecen a la élite de los diez países megadiversos más importantes; y los seis países megadiversos identificados en la región se ubican entre las 15 naciones de mayor importancia en este aspecto. Las cifras son impresionantes: Brasil (~55 000 especies de plantas), Colombia (~50,000 especies) y México (~30 000 especies) atesoran, respectivamente, 18, 16.7 y 10% de la diversidad florística del planeta (que se estima en alrededor de

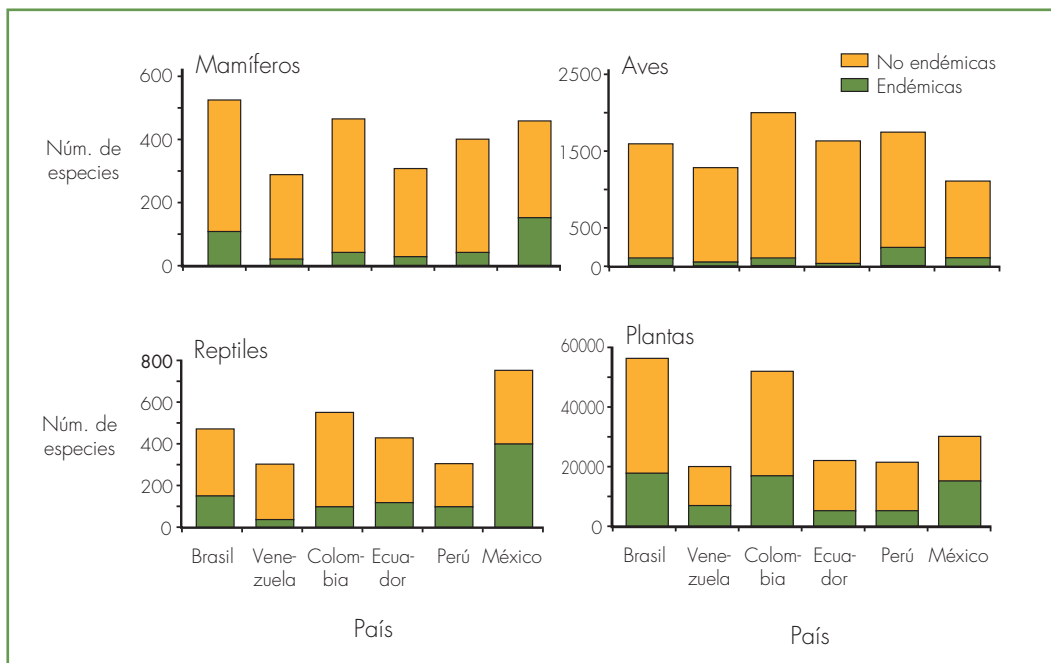


Figura 6. Diversidad de especies y endemismo (número de especies) de tres grupos mayores de plantas y vertebrados de seis países latinoamericanos considerados megadiversos (de izquierda a derecha: Brasil, Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú y México). Datos tomados de varias fuentes citadas en la bibliografía.

300 000 especies). Con sus más de 500 especies de mamíferos, Brasil alberga cerca de 12% de la diversidad mamaliana mundial, mientras que México, con 440 especies, posee 10% del total global. La clasificación de los países varía según el grupo de organismos que se considere, pero Brasil destaca por su diversidad de plantas y mamíferos, y su biodiversidad vegetal supera la de Asia o África; Colombia ocupa el primer lugar en diversidad de aves (con ~1 850 especies) y el segundo en plantas y mamíferos; Perú también descuella por su abundancia de especies de aves (segundo lugar); y México ocupa el primer lugar en diversidad de reptiles, y el segundo en diversidad de mamíferos. Por supuesto, estas clasificaciones también dependen de la su-

perficie terrestre de cada país. En esto resaltan los casos de Ecuador y Venezuela, pues a pesar de su extensión relativamente modesta, también son parte de la elite de países megadiversos por su variedad de aves, mamíferos y reptiles, en el caso de Ecuador, y de aves, mamíferos y plantas en el caso de Venezuela.

Resulta instructivo analizar las distribuciones de las especies independientemente de los límites políticos, reconociendo al mismo tiempo que la información sobre la biodiversidad de cada país tiene gran relevancia geopolítica y normativa. El mapa de la Figura 7 muestra dos aspectos de la diversidad de especies de plantas: i] isolíneas de la densidad de especies de plantas expresada como especies por cada 10 000 km², estimadas con base en 1 400 estudios recopilados por Barthlott y cols., (1999); y ii] diversidad de especies en la escala local (conjunto de datos recopilados por Alwyn Gentry en parcelas de 0.1 ha, tomados de Phillips y Miller, 2002; véanse los detalles en Dirzo y Raven, 2003). Las isolíneas sugieren la presencia de un gradiente latitudinal, donde las densidades de especies oscilan entre más de 5 000 de ellas por 10 000 km² en las regiones tropicales, hasta menos de 100 en las latitudes extremas. El método de las isolíneas resalta, una vez más, la presencia de centros de alta diversidad, como el occidente de la Amazonia, la Mata Atlántica brasileña y América Central. En cuanto a la diversidad de especies local (especies de plantas por 0.1 ha), los valores oscilan entre un promedio de casi 300 especies en lugares ubicados en Perú y Ecuador, hasta ca. 15 en la Patagonia. Ambos análisis subrayan, asimismo, la importancia de regiones como el occidente de la Amazonia, que ostenta, además, el récord mundial de diversidad de especies de plantas, pues en un estudio sobre las plantas leñosas grandes (diámetro de 10 cm o más a la altura del pecho) se encontraron 300 especies de árboles entre un total de 360 de ellos muestreados *en una sola hectárea* de Ecuador (Valencia y cols., 1994), es decir, que casi cada tronco muestreado pertenecía a una especie distinta. El mapamundi de la abundancia de especies de plantas que publicaron recientemente Kreft y Jetz (2007) y en el cual se tuvo en consideración la densidad de especies, hace más que evidente que ALC es una de las regiones más biodiversas del mundo.

Por último, no debemos olvidar que la base de información sobre invertebrados

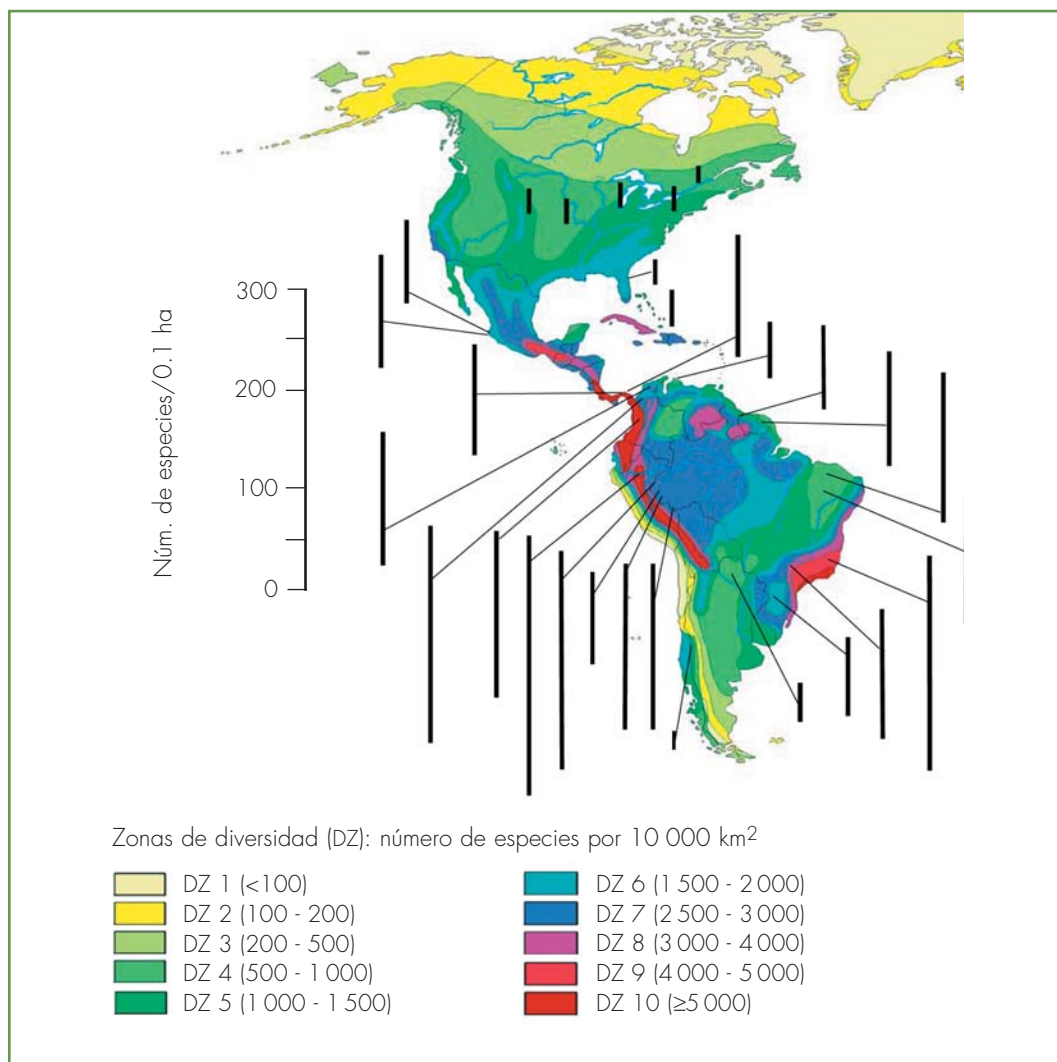


Figura 7. Mapa de la diversidad de especies de plantas por densidad de área (número de especies/10 000 km²) en las Américas, y número de especies de plantas por 0.1 ha en diversas localidades de la región. Cada barra representa el valor promedio de los sitios de tierras bajas (no más de 1 000 m.s.n.m.). El número de especies por 0.1 ha proviene de los datos de Alwyn Gentry (en Phillips y Miller 2002). El mapa fue modificado con base en el mapa de Barthlott y cols. (1999) (Dirzo y Raven, 2003).

terrestres, algas, briófitas, hongos y microorganismos, o no está organizada de tal manera que sirva para establecer comparaciones, o es totalmente inadecuada. Desde luego, algunos de esos mismos grupos taxonómicos tienen un papel desproporcionado en el funcionamiento de los ecosistemas.

Si nos concentramos ahora en la biodiversidad marina, nuestros conocimientos en ALC, o son deficientes, o no están disponibles en un formato que sea útil para este tipo de evaluación. Existen solo unas cuantas bases de datos y, en consecuencia, por el momento es muy difícil extraer información exacta sobre la diversidad de especies de la región, sea en la escala que sea. Obviamente, el desarrollo de tales bases de datos debe ser una prioridad regional de las investigaciones de la biodiversidad marina, dada su capacidad de trabajo analítico y de reducción de las necesidades de exploración. Unos cuantos países de ALC cuentan con estimaciones de la biodiversidad marina o de algunos grupos marinos. Por ejemplo, los invertebrados marinos bentónicos de vida libre de Chile suman en total 4 553 especies (Lee y cols., 2008), es decir, 2.5% de la fauna marina bentónica invertebrada del planeta. Los censos realizados frente a las costas del sureste de Brasil revelaron que hay 1 300 animales bentónicos y 617 especies de teleósteos demersales marinos y estuarinos, aunque es probable que tales cifras sean subestimaciones debido a deficiencias de muestreo (Amaral y Jablonski, 2005). Las costas de Brasil poseen alrededor de 539 especies de algas marinas macroscópicas (Giulietti y cols., 2005a, b), en tanto que las costas del Pacífico, desde la zona subantártica hasta Perú, incluyendo los archipiélagos pertenecientes a Chile, poseen al menos 380 especies de algas bentónicas. Desde luego, estas últimas cifras de biodiversidad palidecen si las comparamos con las plantas terrestres.

Según el primer estimado de la biodiversidad marina de Venezuela, al parecer existen cuando menos 2 697 especies en sus costas (Miloslavich y cols., 2003). El Caribe se cuenta entre las cinco áreas críticas de biodiversidad (ACB) de mayor importancia mundial para la biodiversidad marina y terrestre (Rivera-Monroy y cols., 2004). Tan solo en Cuba, que es la isla más extensa de las Antillas Mayores, el total de especies marinas registradas es de ca. 7 300. De éstas, 5 700 son de inver-

tebrados, 1 060 de vertebrados, y el resto de algas y microorganismos (Claro, 2007). En todo caso, es muy poco lo que sabemos sobre la biología, la ecología, la distribución geográfica y las amenazas antropogénicas de los grupos marinos, inclusive de los mejor conocidos. Los arrecifes de coral son microcosmos de biodiversidad muy peculiares. En los arrecifes coralinos de El Caribe se han descrito alrededor de 30 000 taxones, en su mayoría de organismos macroscópicos. Sin embargo, es muy probable que esa cifra represente apenas una pequeña fracción de la biodiversidad total. En ALC se cuenta con muy pocas evaluaciones de la diversidad microbiana de los ecosistemas marinos, campo donde existe un enorme vacío de información (Mitoslavich, 2008). En general, será necesario que los países de ALC realicen un enorme esfuerzo para elevar el nivel básico de esos conocimientos sobre la biodiversidad marina hasta la altura que tienen los de las plantas vasculares y los vertebrados en los ecosistemas terrestres.

Patrones latitudinales en la diversidad de especies

La tendencia mundial general de los ecosistemas terrestres es que la diversidad de las plantas y los vertebrados disminuya a medida que aumenta la latitud. En ALC, este hecho ha suscitado que se tienda a dar mayor importancia a las investigaciones sobre biodiversidad (y su financiamiento) en los trópicos, en detrimento de los países templados. Si se analiza toda la región, el gradiente latitudinal clásico de la diversidad de especies resulta evidente en algunos grupos de organismos de ALC (Figuras 5 y 7). Sin embargo, aunque existe una relación significativa entre la latitud y la diversidad local en la escala de 0.1 ha, el poder de predicción de dicha relación es muy modesta ($R^2 = 56\%$; Dirzo y Raven, 2003), lo cual indica que otros factores (p. ej., el área), independientes de la latitud, intervienen en la determinación de la distribución de la diversidad vegetal que se observa en la región. Si bien es cierto que las ecorregiones tropicales de ALC poseen más especies de plantas vasculares y de vertebrados en general, algunas investigaciones recientes han demostrado que, en Sudamérica austral, la disminución latitudinal típica de la diversidad de especies

de plantas vasculares va acompañada por una tendencia inversa en la diversidad de las briófitas; tanto así, que las costas sudoccidentales de América del Sur son un área crítica de biodiversidad excepcionalmente importante para las briófitas (Rozzi y cols., 2008) (Figura 8). Es de esperar que esta misma desviación de la tendencia latitudinal típica exista en otros grupos de organismos. Por ejemplo, se ha encontrado una diversidad excepcional entre las abejas polinizadoras de las regiones alpinas de poca altitud de la región chilena con clima mediterráneo (Arroyo y cols., 1982), pero hay muy pocas abejas polinizadoras en el páramo tropical (González y Engel, 2004). Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado al extrapolar información basada exclusivamente en las plantas vasculares y los vertebrados. Puesto que ALC abarca las dos regiones tropicales y colinda con la Antártida, resulta indispensable conocer las tendencias latitudinales de la biodiversidad en muchos de los grupos menos estudiados, para aumentar nuestra comprensión científica de los patrones de diversidad latitudinales en general.

La disminución latitudinal en la diversidad de especies no siempre es el patrón macroecológico que se observa en los hábitats marinos de ALC, según revelan las especies de moluscos marinos de la plataforma continental del sureste del Pacífico ubicada entre 10° y 56°S (Valdovinos y cols., 2003). Allí, el número de especies permanece constante o disminuye en las latitudes intermedias, pero aumenta notablemente en las latitudes extremas al sur del paralelo 42°S. En el Hemisferio Austral, es probable que la radiación evolutiva de los moluscos marinos se haya visto limitada por la estrechez de la plataforma continental entre los 10°S y 41°S. Asimismo, un análisis de las algas marinas bentónicas de las costas sudamericanas del Pacífico (Santelices y Marquet, 1998) reveló que hay más diversidad a mayores latitudes. Está pendiente realizar estudios sobre el gradiente latitudinal de la diversidad de especies en las costas de ALC del lado del Atlántico. Sin embargo, los conglomerados de copépodos estudiados a nivel de género en las costas atlánticas de Brasil y África tienden a ser más diversos hacia las latitudes tropicales (Woodd-Walker y cols., 2002), lo cual parece indicar que el patrón del Atlántico pudiera ser diferente.

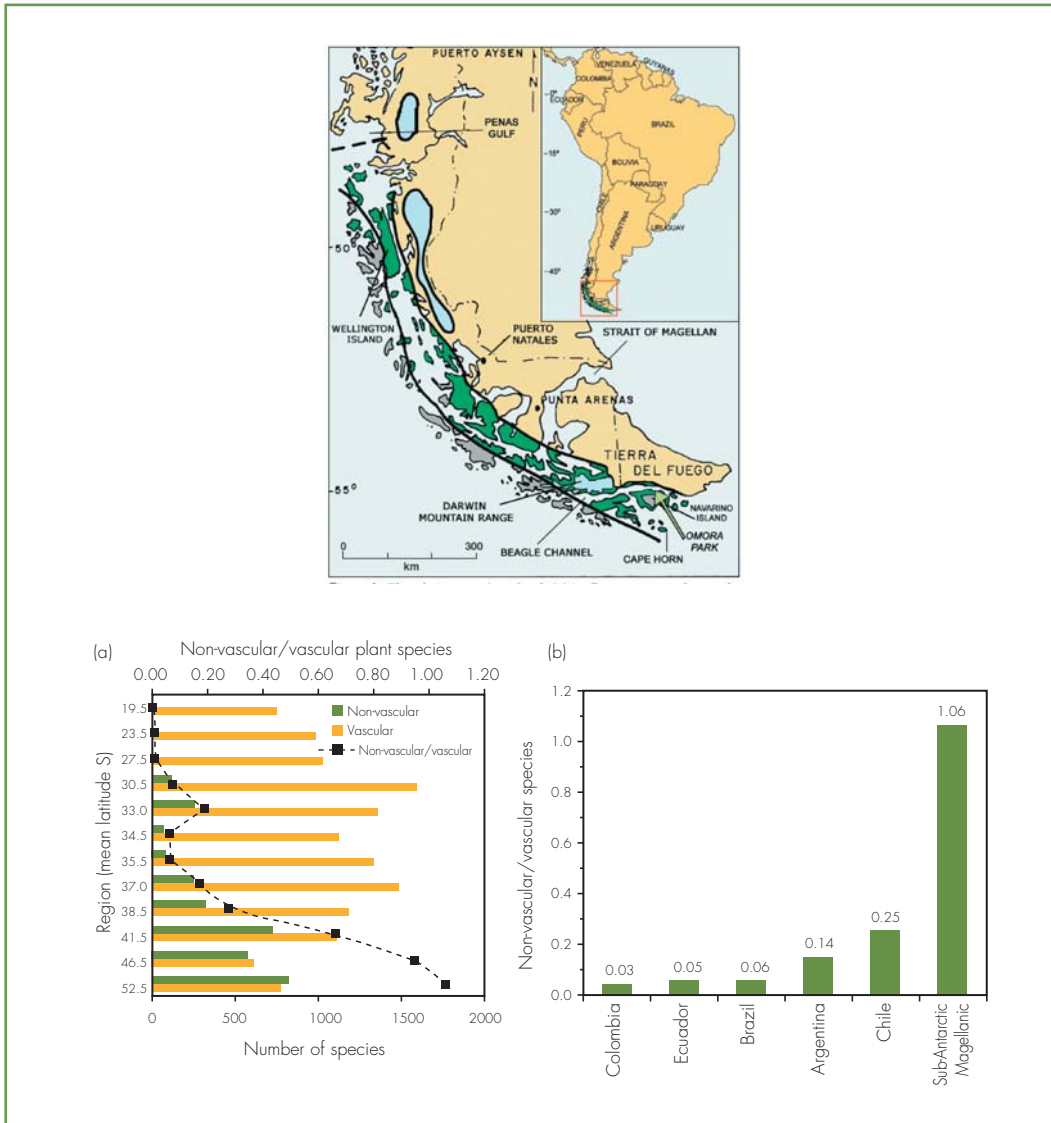


Figura 8. Patrones de diversidad comparativos de especies de plantas vasculares y no vasculares en el occidente de Sudamérica, y proporción relativa de plantas vasculares y no vasculares en varios países de Sudamérica. La diversidad de las briofitas aumenta con la latitud, al contrario de la diversidad de las plantas vasculares (Rozzi y cols., 2008).

Diversidades alfa, beta y gamma

El análisis de las diversidades alfa (α) y beta (β) puede arrojar nueva luz sobre la biodiversidad de ALC. Como ya se explicó, la región posee muchos sitios cuya diversidad γ es notoria; además, los mapas de las Figuras 5 y 7 muestran la diversidad regional general en gran escala geográfica, o diversidad gamma (γ). Sin embargo, esos mapas no permiten averiguar hasta dónde es posible explicar el gradiente latitudinal, o la distribución general de las especies, con base en los desplazamientos de especies, es decir, el intercambio de especies de una localidad a otra (diversidad β). Para hacer un análisis del desplazamiento de especies es necesario identificar las especies de cada localidad y examinar sus intercambios espaciales. Este aspecto de la diversidad de especies aporta información relevante para la planeación de la conservación. Por ejemplo, si las localidades individuales exhiben alta diversidad α , pero todas comparten las mismas especies, bastaría con crear una o dos áreas naturales protegidas para asegurar la conservación de dichas especies. Si, por el contrario, el índice de intercambio de especies (diversidad β) es alto, sería necesario establecer muchas reservas naturales para conservar todas esas especies. Este aspecto crítico de la biodiversidad deberá ser analizado en toda ALC. Según varios estudios aislados, la diversidad β es elevada, por lo menos en algunas regiones tropicales. Por ejemplo, en un estudio reciente que comparó la composición de especies de 20 sitios forestales caducifolios y xerófilos tropicales de México (Trejo y Dirzo, 2002), se descubrió que 72% del total de 917 especies muestreadas estaban presentes en un solo lugar, y que la similitud media (calculada con el índice de Sørensen) entre los sitios era de apenas de 9%. Si bien esto subraya la riqueza de la diversidad de especies en el ámbito regional, también destaca cuán difícil es planear la conservación de la diversidad vegetal en las selvas bajas caducifolias de ALC. Pero una vez más, debe tenerse presente que todos esos análisis se limitan a los vertebrados y las plantas vasculares.

A nivel del ecosistema

Al parecer, los conocimientos sobre la diversidad de las especies (más allá de las simples cifras) a nivel del ecosistema son la información más difícil de obtener, por lo menos en lo referente a la catalogación básica de la biodiversidad de ALC. Hasta ahora, se dispone de datos precisos de esta índole para los ecosistemas de tipo mediterráneo de América del Sur (plantas, vertebrados y algunos insectos) (Arroyo y cols., 1999), las plantas vasculares de los bosques templados de la parte austral de Sudamérica (Villagrán e Hinojosa, 1997), y las plantas vasculares de los páramos (Luteyn, 1999). Además, la lista de control de las plantas vasculares de todos los hábitats ubicados por arriba del límite arbóreo altitudinal (páramo, puna y templado alpino austral) de la cordillera Andina está muy avanzada (Arroyo y cols., 2008). También se cuenta con información confiable para el Cerrado brasileño, que es uno de los ecosistemas de sabana más diversos del planeta. La flora del Cerrado consta de 951 especies de árboles y arbustos grandes (Ratter y cols., 2003) y más de 4 000 especies de herbáceas, sin considerar los campos rupestres ubicados a más de 1 000 m.s.n.m. en el complejo de la Serra do Espinhaço (Mendonça y cols., 1997). Según se estima, los campos rupestres poseen 5 000 especies de herbáceas y son el centro de radiación de familias tan numerosas como Eriocaulaceae, Velloziaceae y Xyridaceae (Giulietti y cols., 1997); muchas de esas especies también se encuentran en la variante más típica del Cerrado.

Se cuenta con información sobre algunos de los mayores humedales de ALC. Por ejemplo, el Pantanal de Brasil alberga alrededor de 1 863 especies de plantas y 263 de peces, 35 de reptiles, 463 de aves y 132 de mamíferos (Alho, 2005). Desde luego, es posible recopilar el mismo tipo de datos para otros ecosistemas de ALC si uno se da a la tediosa tarea de revisar centenares de monografías publicadas.

Biodiversidad excepcional en ecosistemas excepcionales

Dada su diversidad fisiográfica, composición geológica variada e intenso vulcanismo, la región de ALC posee muchos hábitats inusitados que están en espera de ser

estudiados. Es probable que éstos contengan organismos poseedores de características funcionales y fisiológicas excepcionales que, en algunos casos, pudieran ser de interés económico. De hecho, existen algunos descubrimientos interesantes. En las zonas de mínimo oxígeno (*minimum oxygen zones*, OMZ) se encuentran ecosistemas hipóxicos o anóxicos muy peculiares. Dichos ecosistemas contienen bacterias gigantes (*Thioplota*, *Archaea*) y especies de plancton únicas. Los sedimentos de la OMZ ubicada en la parte oriental del Pacífico del Sur fueron los primeros en revelar la presencia de enormes poblaciones de grandes bacterias de vida libre (Gallardo, 1997), que según se sabe ahora, pertenecen a las proteobacterias gamma; posteriormente, las mismas bacterias aparecieron en la OMZ del este del Pacífico y en los sedimentos ubicados debajo de la OMZ de las costas de Namibia, en el Ecosistema Marino de la corriente de Benguela. Gallardo y Espinoza (2006) sugieren que tales megabacterias y sus acumulaciones pudieran ser análogas a las presentes en los mares del Precámbrico. Desde luego, constituyen oportunidades potenciales de investigar la evolución de las formas de vida primitivas en los sedimentos de las plataformas continentales.

Aunque el muestreo de los microorganismos ha sido insuficiente en todo el mundo, lo más probable es que éstos representen una fuente incalculable de innovaciones y materiales genómicos que responderán interrogantes científicas básicas. Tales organismos se encuentran abundantemente en las profundidades oceánicas, en respiraderos volcánicos y termas submarinas, en la rizosfera (raíces de las plantas) y en la filosfera (superficie de las hojas). Tales hábitats, que están bien representados en ALC, como ya se mencionó, están revelando conocimientos fascinantes, como sería de esperar. Según un estudio reciente sobre las bacterias de la filosfera en nueve especies arbóreas de la Mata Atlántica de Brasil, alrededor de 97% de éstas son especies desconocidas y la filosfera de cualquier especie arbórea dada contiene entre 95 y 671 especies bacterianas; además, cada especie de árbol posee contingentes de especies modalmente diferentes (Lambais y cols., 2006). La extrapolación de los resultados dio un total estimado de 2 a 13 millones de nuevas especies de bacterias, tan sólo en la Mata Atlántica. Desde luego, esto suscita de inmediato varias interrogantes, como cuáles factores controlan la especificidad del anfitrión, si es posible

identificar grupos funcionales entre las bacterias, si la diversidad bacteriana de la filósfera disminuye con la latitud o la altitud, y si la enorme diversidad de los árboles es la causa de esa diversidad bacteriana tan exagerada.

Si continuamos con los hábitats inusitados de ALC, se descubrió que las comunidades microbianas de Cuatro Ciénegas, lugar ubicado en la parte mexicana del Gran Desierto de Chihuahua y poseedor de un sistema de manantiales, arroyos y pozas, contienen 250 filotipos diferentes (38 de ellos, endémicos) y que el parentesco de 50% de éstos es más cercano a los taxones marinos (Souza y cols., 2006), lo que dio lugar a la pregunta de qué tienen en común los ambientes marinos y el desierto de Chihuahua. Asimismo, las acumulaciones microbianas hiperhalófilas de Guerrero Negro, Baja California, han revelado 752 especies pertenecientes a 42 de los principales filo bacterianos, y 15 nuevos filo tentativos (Ley y cols., 2006). En contraste, los suelos cuasi marcianos de las zonas hiperáridas del desierto de Atacama carecen por completo de bacterias edáficas, y en los lugares menos áridos, donde sí hay presencia de bacterias desertícolas, existe menos diversidad que en las zonas de precipitación pluvial equivalente del desierto de Sonora (Navarro-González y cols., 2003). Por último, un conjunto de briófitas termófilas que crecen en sitios volcánicos activos de las Islas Shetland (Antártida) (Smith, 2005) constituye un ejemplo más de la biodiversidad excepcional de ALC. Éstos son sólo unos cuantos ejemplos de los inusitados hábitats de la región. En todo caso, como parte de la estrategia integral de investigación de la biodiversidad de ALC, deberá procurarse descubrir la biodiversidad de tales ecosistemas.

2.2.5. Diversidad y rasgos funcionales

La diversidad funcional es independiente de la afiliación taxonómica de un organismo. Aunque raramente se le reconoce como una faceta importante de la biodiversidad, su relevancia ecológica y evolutiva es crucial, pues representa la diversidad de respuestas que los seres vivos desarrollaron evolutivamente para enfrentar las presiones ambientales impuestas por sus hábitats. Desde la perspectiva de la conservación

de la biodiversidad, también es importante porque debido a la influencia humana y la pérdida de especies, el funcionamiento de los ecosistemas pudiera depender de la conservación de los grupos funcionales relevantes, además de, o en lugar de la diversidad de especies. Algunos expertos opinan que los caracteres funcionales (que definen a los grupos de este tipo) son un buen indicador de la funcionalidad, la integridad y las futuras trayectorias de los ecosistemas en condiciones de cambio climático y cambio del uso del suelo (Díaz y Cabido, 1997, 2001; Quetier y cols., 2007). Puesto que es más fácil obtener datos sobre la biodiversidad funcional que sobre la diversidad alfa, el estudio de los caracteres funcionales es un campo que bien vale la pena abordar en una región tan biodiversa como ALC. Podemos predecir que esta faceta de la biodiversidad está bien desarrollada, dada la variedad de los ecosistemas presentes en la región y la diversificación explosiva de sus formas de vida.

Se cuenta con pocos estudios sobre la diversidad funcional (y los caracteres funcionales) de ALC, y la mayoría de éstos se encuentra en la etapa descriptiva. Por ejemplo, los ecosistemas desérticos mexicanos (Miranda, 1955) constan de 43 formas de vida claramente distinguibles, incluyendo: cactáceas de varios tipos morfofuncionales (saguaros columnares, chollas, *Opuntia* spp., *Mamillaria* spp., y cactáceas suculentas semienterradas, como el peyote, que es muy rico en mezcalina); arbustos xerófilos con hojas minúsculas o ausentes (p. ej., ocotillos y gobernadoras); arbustos y arbolillos suculentos y leñosos con forma de roseta (p. ej., *Agave* spp. y *Dasyliirion* spp., respectivamente); plantas arborescentes tipo palma (p. ej., izotes); y árboles xerófilos como los pinos piñoneros y los juníperos entre las coníferas, y especies arbóreas de corteza senescente como las burseráceas; y una enorme variedad de plantas anuales efímeras (p. ej., dalias). En esta misma vena, las más de 300 especies de *Senecio*, 135 especies de *Calceolaria* y 88 especies de *Adesmia* que se encuentran en los hábitats superiores al límite arbóreo altitudinal de la cordillera Andina, exhiben una notoria diversidad de formas de vida a nivel de un solo taxón.

En los ecosistemas forestales húmedos tropicales, la diversidad de formas de vida vegetal es igualmente espectacular, pues incluye: árboles de muy diversos tamaños, con algunas eminencias arbóreas de 50 o más metros de altura; densas lianas;

arbustos del sotobosque; palmas gigantescas o enanas; palmas que crecen como lianas; árboles epifíticos; enredaderas herbáceas; epifitas herbáceas, entre las cuales destacan orquídeas, helechos y bromeliáceas; y los impresionantes árboles estranguladores semiepifíticos. Como dato notorio, el bosque húmedo templado de Sudamérica austral, en el que predominan los árboles angiospermos, exhiben mucha mayor diversidad arbórea y de formas de vida que los bosques húmedos templados equivalentes del Hemisferio Boreal. En esos bosques, la contribución de las enredaderas (lianas y parras) se aproxima a la de los bosques húmedos tropicales del noroeste de Australia (Arroyo y cols., 1996). Estos bosques, que son mundialmente escasos y forman una pequeña “isla” separada por más de 1 000 km del bosque de dosel cerrado más cercano en el subcontinente sudamericano, poseen muchos elementos leñosos neotropicales compartidos, a nivel de género, con los bosques tropicales de las tierras altas de los Andes y los bosques del sureste de Brasil. Su diversidad funcional indica que contienen indicios mucho más claros de los climas calurosos del pasado que sus homólogos templados del Hemisferio Boreal; por consiguiente, su respuesta ante el calentamiento global es de especial interés teórico.

Un espectacular ejemplo tomado del Reino Animal es el de los murciélagos (Chiroptera), un linaje filogenético que ha tomado diversos rumbos evolutivos a fin de resolver el reto de encontrar y utilizar recursos alimenticios. En cada región dada, este grupo de animales posee varios grupos funcionales, como: frugívoros (p. ej., *Artibeus* spp.); nectarívoros (p. ej., *Choeroniscus* spp.); hematófagos (p. ej., *Desmodus* spp.); piscívoros e insectívoros (p. ej., *Lonchorrhina* spp.). La diversidad de adaptaciones a tal variedad de hábitos alimenticios se aprecia en las variaciones morfológicas de la cabeza de los murciélagos (véanse las ilustraciones de Dirzo y Mendoza, 2008).

La diversidad funcional y de formas de vida de los ecosistemas marinos de ALC también es pasmosa, dada la abundancia de hábitats (Couto y cols., 2003) presentes en sus playas arenosas y rocosas, lechos de pastos submarinos, comunidades bentónicas de fondos blandos y manglares. En el mar, la columna de agua y su aumento proporcional de la presión, aunados a la ausencia de luz por debajo

de una zona fótica relativamente somera, se prestan para que haya una amplia variedad de tamaños (desde bacterias y nanoplancton hasta ballenas), formas de vida (bentónicas sésiles, bentónicas semisésiles, pelágicas, etc.) y sistemas fisiológicos y grupos funcionales (depredadores activos y acechadores, ramoneadores, omnívoros, detritófagos y filtradores). Entre estos últimos existen, desde grupos adaptados para resistir la desecación en condiciones litorales (p. ej., caracoles litorínidos, balanos, etc.), hasta los adaptados para resistir cientos de kilogramos de presión y vivir en los hábitats afóticos del fondo oceánico. Sin embargo, este aspecto de la biodiversidad no ha sido analizado lo suficiente en los hábitats marinos de ALC, donde podría utilizarse con buenos resultados como indicador del estado de los ecosistemas marinos.

2.2.6. Endemismo

Este parámetro, que se refiere a los taxones presentes en un área geográfica específica y que no se encuentran en ningún otro lugar de la Tierra, constituye un importante aspecto cuantitativo de la biodiversidad que suele influir en la formulación de estrategias de conservación, dado que las entidades biológicas de distribución restringida son particularmente vulnerables a la extinción global si, por ejemplo, se destruyen sus hábitats. Es bien sabido que el endemismo de ALC es alto en general, sobre todo en Sudamérica, dado que los centros de endemismo tienden a concentrarse en las latitudes bajas del Hemisferio Austral (donde las masas continentales están mucho más ampliamente separadas que en el norte) y en las islas. El endemismo se puede expresar en varios niveles: especies, géneros, familias, órdenes, e incluso formas de vida (como sucede, por ejemplo, en los bosques tropicales caducifolios de América Latina, donde se encuentran formas arborescentes del género *Ipomoea* —al cual pertenecen las famosas campánulas o glorias de la mañana—, cuyos representantes suelen ser enredaderas típicamente herbáceas).

En el ámbito continental, ALC es rica en endemismo de plantas vasculares (Figura 5), si se considera no sólo el número absoluto de especies endémicas, sino tam-

bién a éstas como una proporción del número total de las especies, con la notoria excepción de Brasil, cuyos niveles de endemismo vegetal son relativamente bajos. No obstante, vale la pena mencionar que existen grandes variaciones en este enorme país y que en algunas de sus regiones, como el Cerrado, abundan las plantas endémicas. Si se les considera por país, los mamíferos, anfibios, reptiles y aves (Figura 5) exhiben niveles de endemismo excepcionalmente altos en ALC en comparación con otros continentes, y esto se vuelve evidente al analizar los números absolutos y proporcionales de especies. A diferencia de lo observado en el caso de las plantas vasculares, la contribución de Brasil al elevado endemismo de los vertebrados de ALC es muy marcada, y lo mismo ocurre si se consideran los números absolutos y relativos de especies de mamíferos, reptiles, anfibios y aves (Figura 5).

Además de su diversidad de especies, los países megadiversos de ALC exhiben grandes cantidades absolutas de especies endémicas de plantas, mamíferos, aves y reptiles (Figura 6). Por mucho, las cifras absolutas más altas de especies endémicas les corresponden a las plantas y, como es lógico, parece haber un gradiente de endemismo creciente a medida que los organismos se vuelven más sésiles en este sentido: plantas (los más sésiles) > reptiles > mamíferos > aves (los más móviles). A pesar de los efectos del área y los tipos de biomas predominantes en cada uno de estos países, como ya se explicó, vale la pena destacar que México, un país que sólo es parcialmente tropical, ocupa el primer lugar en endemismo proporcional de plantas, reptiles y mamíferos, y el segundo en aves, lo que pone de manifiesto que los países extratropicales de ALC, si bien no tan diversos como los tropicales, pueden tener altos grados de endemismo.

Aunque el endemismo depende evidentemente de la escala, las teorías que predicen la distribución de los endemismos son limitadas. Aquí analizaremos el endemismo de ALC mediante una gráfica de Bylov (Dirzo y Raven, 2003) (Figura 9). Las localidades situadas por arriba de la línea base (área blanca de la gráfica) tienen grados de endemismo inferiores a la media que cabría esperar por su área terrestre; las que están debajo de la línea (área sombreada) tienen mayor endemismo en función de su área. Además, a modo de referencia, la gráfica muestra un país ubicado

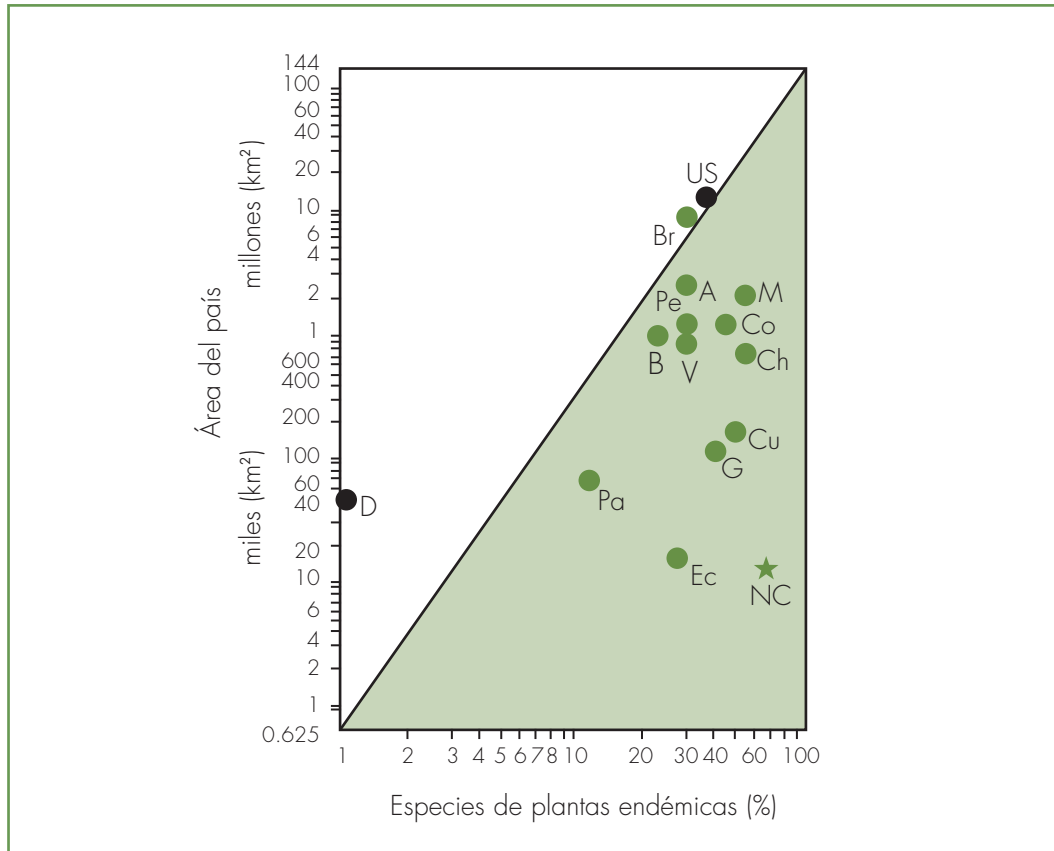


Figura 9. Gráfica de Bykov del endemismo de las plantas donde se aprecia la relación entre el porcentaje de especies de plantas endémicas de los diversos países y su respectiva extensión territorial. La diagonal une el mínimo de 1% de plantas endémicas en 625 km² y el total de especies endémicas presentes en la superficie total del planeta. Los países latinoamericanos representados son: Argentina (A), Bolivia (B), Colombia (Co), Chile (Ch), Cuba (Cu), Ecuador (Ec), Guatemala (G), México (M), Perú (P) y Venezuela (V). También mostramos, con fines comparativos, un país muy pobre en endemismo, Dinamarca (D); un país ubicado justo en la posición esperada, Estados Unidos (US); y una de las áreas críticas de biodiversidad de Myers y cols. (2000), Nueva Caledonia (NC) (el endemismo porcentual y su área original fueron tomados de Myers y cols., 2000). El área sombreada debajo de la diagonal corresponde a las regiones ricas en endemismo (Dirzo y Raven, 2003).

en la línea base (Estados Unidos), lo cual indica que su grado de endemismo corresponde a lo que cabe esperar en función de su área; también aparece Dinamarca, un país que por su nulo endemismo se ubica en el eje de las Y, más o menos a la altura de los 50 000 km²; por último, la gráfica muestra Nueva Caledonia, un país sumamente rico en endemismo, pues ~70% de sus especies son endémicas y tiene un área de apenas 18 000 km². Esta gráfica indica que 11 de los 12 países de ALC analizados se encuentran debajo de la línea recta, entre Estados Unidos y Nueva Caledonia, pues los grados de endemismo de sus plantas son mayores de lo esperado; algunos de esos países, en particular Ecuador, y Cuba, que es una isla, se encuentran muy lejos de la línea base. El endemismo mayor al esperado es evidente sobre todo en los países sudamericanos, pues la mayoría de ellos son tropicales, así como en Chile y Argentina, dos países de clima templado; la otra excepción es México, un país parcialmente norteamericano. En congruencia con lo observado en la Figura 5 y la explicación anterior, el único país excepcional es Brasil, pues a pesar de su enorme abundancia de especies, su flora endémica lo ubica prácticamente en la línea base. Este tipo de marco de referencia servirá como patrón para hacer nuevas comparaciones de ALC en el ámbito subregional, pero usando áreas con mejor definición natural, como los ecosistemas. Además, las futuras investigaciones sobre el endemismo en los hábitats terrestres de ALC deberán concentrarse más en los endemismos y las rarezas locales, como por ejemplo, la identificación de áreas geográficas cuyas concentraciones de especies endémicas estén distribuidas en escalas más chicas (2 500 a 10 000 km²).

Puesto que los habitats marinos tienen menos barreras físicas que entorpezcan la dispersión, resulta lógico que el endemismo en éstos sea menos frecuente, sobre todo en los océanos, que en los ecosistemas terrestres. Además, las corrientes costeras y oceánicas, al igual que los sistemas de afloramiento de aguas profundas y el hundimiento de aguas superficiales, o los mecanismos de transporte de Ekman, acarrear activamente organismos marinos a grandes distancias (aunque también se conocen mecanismos de retención en las zonas costeras; véase, por ejemplo, Castilla, 2002). A pesar de eso, los organismos marinos están estrechamente adaptados a ciertas

condiciones ecológicas y fisiológicas (p. ej., temperatura, salinidad, presión, luz, etc.). Por ende, el transporte a grandes distancias no significa necesariamente una distribución cosmopolita. Entre los organismos marinos, el endemismo es más frecuente en las islas muy aisladas, en lugares cuyas condiciones oceanográficas son restrictivas (Castilla y Largier, 2002) o donde existen poderosas barreras oceánicas, como corrientes marinas o condiciones de poco oxígeno o salinidad. En ALC, menos de 5% de los peces demersales y pelágicos que viven frente a las costas de Brasil son endémicos. Sin embargo, se estima que 30% de las algas bentónicas del Archipiélago de Juan Fernández (Santelices, 1992), 50% de los peces del Archipiélago de las Galápagos y 29% de los peces costeros de Juan Fernández (Pequeño y Saez, 2000) son endémicos.

2.2.7. Agrobiodiversidad, diversidad cultural y reflexiones sobre diversidad genética

Aunque estos aspectos tienden a ser pasados por alto cuando se analiza la biodiversidad de la región, es innegable que el ser humano, tal como lo demostró nuestro breve repaso del contexto cultural, ha interactuado por mucho tiempo con los ecosistemas y la diversidad biológica de ALC, lo que se prestó a la domesticación y semidomesticación. Si combinamos la biodiversidad con la diversidad cultural, el resultado es lo que denominamos diversidad biocultural. El cúmulo de conocimientos, tradiciones, expresiones artísticas y técnicas de manejo de plantas (y animales) de cada localidad representa, colectivamente, la enorme riqueza en diversidad biocultural de ALC; nos referimos al resultado de siglos de esfuerzo, por parte de los habitantes locales, a fin de generar productos valiosos para el ser humano, derivados de su profundo conocimiento tradicional de los recursos presentes en los ambientes que les rodean. Es en este ámbito particular donde se encuentra la mayoría de los organismos con valor socioeconómico. Además, la agrobiodiversidad es importante porque nos informa, hasta cierto punto, sobre la diversidad genética de la región.

Un buen indicador de la importancia de una región geográfica dada, desde el

punto de vista de la agrobiodiversidad, es la presencia de centros de origen de actividades agrícolas y domesticación de plantas, es decir, los llamados centros vavilovianos (Vavilov, 1926). Tales centros son lugares donde los recursos vegetales son diversos y poseen gran potencial evolutivo bajo la influencia humana, y donde las culturas tradicionales desarrollaron profundos conocimientos acerca de sus recursos botánicos, cuya aplicación desembocó en la domesticación de muchos cultivos que,

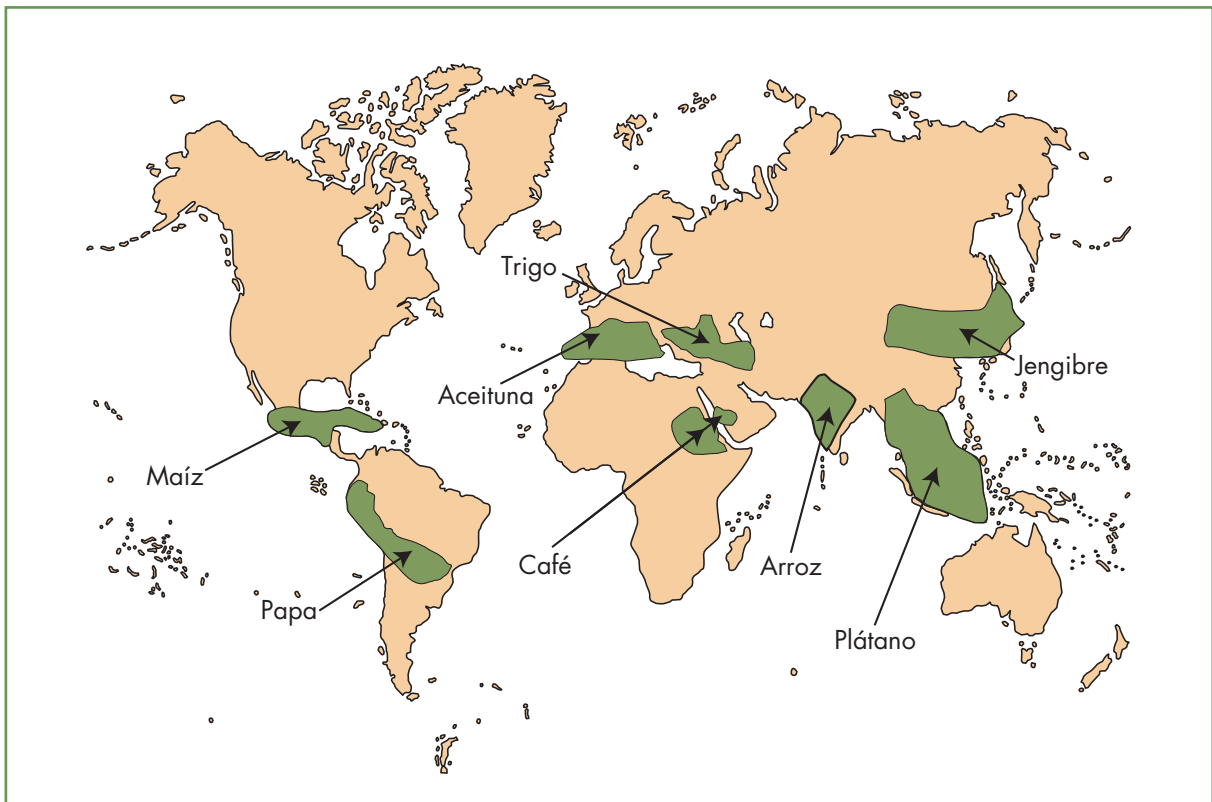


Figura 10. Centros de origen de cultivos y otras plantas domesticadas, y algunos ejemplos representativos de cada uno de ellos. En América Latina y El Caribe existen dos centros mayores y se presentan dos ejemplos emblemáticos: el maíz, de Mesoamérica; y la papa, de la región andina.



Figura 11. Mosaico de ejemplos representativos de cultivos y otras plantas domésticas procedentes de América Latina y El Caribe. Fotos por cortesía de Fulvio Eccardi.

con el paso del tiempo, se convirtieron en algunos de los más importantes recursos alimenticios de la humanidad. En la Figura 10 se presenta la distribución de los centros vavilovianos, y se destaca la presencia de dos de ellos en ALC, mediante los ejemplos del maíz y la papa. En estos excelentes ejemplos, la agrobiodiversidad de la región incluye una variedad de especies domésticas y semidomésticas, así como muchos de sus parientes silvestres (Figura 11).

En los países de ALC han surgido muchos compendios de agrobiodiversidad, lo que nos ha permitido hacer referencia a ejemplos muy representativos desde el pun-

to de vista botánico terrestre. Entre ellos destacan: maíz (*Zea mays*), chiles (*Capsicum annun*), frijoles (*Phaseolus* spp.), guajes (*Leucaena* spp.), calabazas, chayotes y calabacines (*Cucurbita* spp.), aguacates y paltas (*Persea* spp.), papaya (*Carica papaya*), vainilla (*Vanilla planifolia*), mamey (*Pouteria sapota*), cacao (*Theobroma cacao*), tomates (*Lycopersicum esculentum*) y tomatillos (*Physalis* spp.), jícama (*Pachyrizus erosus*), papa (*Solanum tuberosum*), guayaba (*Psidium guajaba*), camote (*Ipomoea batata*), amaranto (*Amaranthus* spp.), algodón (*Gossypium hirsutum*), cacahuete (*Arachys hypogaea*) y tapioca (*Manihot esculenta*). En realidad, se reconocen alrededor de 98 especies de tapioca o mandioca. Todas son originarias del Nuevo Mundo y se concentran en cuatro regiones de Brasil y Centroamérica (Nassar, 2002). La tapioca no crece en forma silvestre (Rogers y Appan, 1973), de modo que su enorme variación actual (Rogers y Fleming, 1973) pudiera deberse a que ha estado sujeta a reproducción vegetativa por cientos de años.

Entre las plantas alimenticias domésticas menos conocidas están: el mango sudamericano (*Bromus mango*), que los araucanos cultivaron como cereal; los cereales andinos quínua o quínoa (*Chenopodium quinoa*), cañihue (*Chenopodium pallidicaule*), quihuicha (*Amaranthus caudatus*) y tarhui o lupino (*Lupinus mutabilis*); y los tubérculos andinos ullucu (*Ullucus tuberosus*), oca (*Oxalis tuberosus*) y mashua o majua (*Tropaeolum tuberosum*), para mencionar sólo unas cuantas.

Algunas especies domésticas de ALC representan conglomerados de variantes genéticas que alcanzan cifras impresionantes, como lo ejemplifica el caso de la papa, que posee alrededor de 1 200 variedades distinguibles, a las cuales dan usos específicos y asignan cosmogonías las comunidades indígenas de la región de Cusco, Perú, y que cuenta, además, con un centro de diversidad secundario en las regiones central y meridional de Chile, del cual se derivaron, según se sabe ahora, la mayoría de las papas domésticas del mundo (Ríos y cols., 2007), mismas que fueron llevadas del archipiélago de Chiloé a las Islas Canarias.

Los datos fenotípicos y moleculares sugieren que algunos representantes de la agrobiodiversidad fueron domesticados, de modo independiente, en al menos dos partes distintas de ALC, como sucedió con el frijol (*Phaseolus vulgaris*), y la calabaza

(*Cucurbita pepo*) (Burger y cols., 2008). Otros ejemplos de alimentos vegetales fueron llevados por los amerindios de un lado a otro, donde se seleccionaban nuevas variedades locales. Los indígenas arahuacos (o comedores de tubérculos), que habitaron en la parte septentrional del Amazonas hace más de 1 000 años, cultivaban la tapioca y practicaban la agricultura (MacNeish, 1964). En el siglo XI, fueron obligados a emigrar hacia América Central, cruzando el Mar Caribe, para asentarse primero en las Antillas. Es de suponer que la tapioca, que los arahuacos llevaron a México, se hibridó con especies silvestres locales y así surgió un centro adicional de diversidad de tapioca (yuca) en esa región. La historia de la migración arahuaca hacia el planalto boliviano y el centro de Brasil explicaría la existencia de dos centros de diversidad de la tapioca en la región. Se cree que el centro de diversidad del noreste de Brasil se debió a la migración del grupo tupi-guaraní (Schmidt, 1951; Nassar, 1978a, b).

Aunque el manejo y la domesticación se han concentrado típicamente en especies con ciclo de vida corto, en su mayoría herbáceas, también se realiza un manejo constante, con posible domesticación, de plantas más longevas e incluso de árboles. Por ejemplo, el árbol tropical llamado ramón (*Brosimum alicastrum*) —que tiene muchos nombres en maya y otros dialectos indígenas—, es ampliamente propagado y protegido por los mayas de América Central por sus muchos usos; los frutos sirven de alimento humano y animal; las semillas se comen tostadas y se usan para preparar una bebida descafeinada parecida al café; el látex se utiliza para combatir el asma y la bronquitis, y como agente galactógeno para mujeres y animales; el follaje también se usa para alimentar animales domésticos; y la madera se emplea como material de construcción y para la fabricación de muebles. La validación del uso del ramón surge del análisis de sus propiedades químicas, que revelan un alto contenido de proteínas (13.5%), calcio (15%), fósforo (36%), hierro (1%), vitamina A (80%), ácido ascórbico (vitamina C) (28%) y pequeñas cantidades de aminoácidos, como el triptófano. Como dato interesante, los bosques tropicales de la región centroamericana exhiben un marcado predominio, posiblemente excepcional, de esta especie, lo que pudiera ser consecuencia de su constante manejo arcaico.

Otro ejemplo de planta leñosa es la palma chonta o chontadura (*Bactris gasipaes*), la palma más importante de la América precolombina, sin lugar a dudas, que llegó a ser uno de los principales cultivos de los amerindios en grandes extensiones de los trópicos húmedos y algunas partes de los trópicos áridos. La nuez de Brasil (*Bertholletia excelsa*), la palma asaí (*Euterpe oleraceae*) y el cupuaçú (*Theobroma grandiflorum*), han sido ampliamente utilizados como fuente alimenticia primaria de los pueblos indígenas y las comunidades amazónicas locales por muchas generaciones (Muñiz-Miret y cols., 1996). Otras especies arbóreas utilizadas son: cacao montero o cupuí (*Theobroma subincanum*), nuez de la India o cajú (*Anacardium occidentale*), jagua (*Genipa americana*), papaya (*Carica papaya*), guayaba (*Psidium guajava*), caimito o abiú (*Pouteria caimito*), anona (*Annona squamosa*), anón cimarrón o biribá (*Rollinia mucosa*), pitomba (*Talisia esculenta*), mangaba (*Hancornia* spp. y *Parahancornia* spp.), nanche o muricí (*Byrsonima* spp.), pajurá (*Couepia bracteosa*), y varias especies del género *Inga* (Fabaceae) (Miller y Nair, 2006). Los piñones de *Araucaria araucana* son la principal fuente de carbohidratos de los pehuenches de Sudamérica austral. Este pueblo sigue consumiéndolos en grandes cantidades e incluso se venden en los mercados locales. Los pehuenches también utilizaron los piñones de *Araucaria* y las bayas de *Aristotelia chilensis* para producir bebidas alcohólicas. Algunas de estas especies leñosas fueron domesticadas, mientras que otras fueron semidomesticadas o manejadas en estado silvestre.

Entre las bebidas destacan dos importantes aportaciones. Los pueblos indígenas de Paraguay, Brasil, Argentina y Uruguay han consumido durante siglos la yerba mate (*Ilex paraguariensis*) como una bebida de uso social y medicinal. Está demostrado que la yerba mate es hipocolesterolémica, hepatoprotectora, estimulante del sistema nervioso central, diurética y saludable para el sistema cardiovascular (Heck y de Mejía, 2007). Otro buen ejemplo es el guaraná (*Paullinia cupana*), que se consume en la región amazónica.

Más allá de la constelación de plantas domésticas y semidomésticas y sus variedades, existen muchas otras especies sujetas a manejo en distintos grados de intensidad, desde cultivo o mantenimiento en huertos familiares, injerto, poda y eliminación

de plantas competidoras y plagas en los agropaisajes controlados por el ser humano, hasta manejo directo en estado silvestre. En México, se utilizan alrededor de 7 000 especies nativas para muy diversos fines: medicinales, ceremoniales, insecticidas y psicotrópicos; como alimento, ablandador de carnes, alimento para abejas y carnada para pesca; textiles; elaboración de papel; goma de mascar; combustible; materiales de construcción, cercos, pinturas, tintes, lacas y barnices, ceras; cosméticos y jabones; ornato; y cientos de plantas semicultivadas (presentes en huertos familiares, incluyendo: epazote, nanche, quelites, etc.). Hasta en los ambientes más extremos, como sucede en el altiplano Chileno, los indígenas aimaras, que viven a más de 4 000 m.s.n.m., utilizan diariamente 64% de las especies (de un total de 225 especies analizadas) con uno u otro propósito, y emplean 45% de las mismas como forraje para el ganado. Notablemente, existen nombres vernáculos para 74% de esta flora (Castro y cols., 1982). Algunas de las especies nativas de ecosistemas de ALC han sido recolectadas en tiempos modernos y se han propagado de manera masiva en la actualidad, hasta el punto de que raramente se les reconoce su fuente de origen, como es dramáticamente representado con el caso del cuetlaxóchitl o flor de pascua (o poinsettia en Inglés) (*Euphorbia pulcherrima*), una planta nativa de las selvas caducifolias del Sur de México.

Aunque la información sobre los animales domésticos es más limitada, se sabe que varias culturas antiguas domesticaron diversas especies como el escuintle (perro perteneciente al mismo linaje que el malamute siberiano y el pastor alemán; Vila y cols., 1997) de los aztecas; por su parte, los quechuas domesticaron dos camélidos andinos, es decir, llamas (*Lama glama*) y vicuñas (*Vicugna pacos*) alrededor de 6 000-7 000 AP (Wheeler, 1995). Otros casos de domesticación de animales son: el cobayo (*Cavia porcellus*) en Perú; el pavo o guajolote (*Meleagris gallopavo mexicana*) en México; y el pato criollo (*Cairina moschata*), desde México hasta Sudamérica. Muchas de esas especies siguen viviendo en áreas limitadas, como sucede con los camélidos andinos, pero en fechas recientes han tendido a colonizar otros lugares. Diamond (1999) explica las pocas domesticaciones de animales como una consecuencia de la escasez de candidatos susceptibles de domesticación después del evento de extinción del Pleistoceno.

Volviendo a la diversidad genética, aunque las plantas cultivadas y domesticadas nos permiten atisbar un poco la magnitud de la diversidad genética, la información sobre este tema es muy escasa entre las especies silvestres de ALC, no obstante el hecho de que la región ha llevado a cabo un buen número de censos sobre reproducción de plantas al nivel de comunidad y que éstos abarcan varios tipos de comunidades vegetales. Dichos estudios revelaron que la autoincompatibilidad genética y el dioicismo son los mecanismos reproductivos que predominan en los bosques tropicales y templados (Bawa, 1974; Ruiz y Arroyo, 1978; Riveros y cols., 1996), y que los métodos de reproducción por entrecruzamiento están bien representados, incluso en hábitats extremos como la región alpina patagónica (Arroyo y Squeo, 1990). En general, las especies herbáceas exhiben mayor autoincompatibilidad que los árboles (Ramírez, 1993; Arroyo y Squeo, 1990). Aunque basados principalmente en las alozimas, los estudios sobre una amplia variedad de árboles de los bosques templados de Sudamérica austral han revelado la existencia de patrones de diversidad genética congruentes con el entrecruzamiento (Donoso y cols., 2004).

En el caso de las especies tropicales, la información sobre la diversidad genética es más escasa. Obviamente, no existe ningún motivo para esperar que existan patrones específicos en ALC, pues los patrones de diversidad genética se apegan a reglas generales. Por ejemplo, en un estudio sobre la filogeografía de una especie arbórea amenazada, el pequi (*Caryocar brasiliense*), basado en la variabilidad de dos clases de secuencias de ADN presentes en los cloroplastos heredados por la línea materna, se demostró que era posible identificar 11 secuencias haplotípicas en un total de 160 individuos recolectados en 10 poblaciones. El análisis indicó que la mayor parte de la variación era atribuible a diferencias entre las poblaciones, tanto en la secuencia de ADN (87.51%) como en los microsatélites (84.38%). En otro ejemplo, la diversidad genética del mangle rojo (*Rhizophora mangle*), especie ampliamente distribuida en el Neotrópico, incluyendo a México, reveló, en términos generales, que en este país hubo una clara diferenciación genética entre las poblaciones, debido posiblemente a la deriva génica, y que las poblaciones de las costas del Pacífico tienen mayor diversidad genética que las del Atlántico. Moraes y Derbyshire

(2004), quienes investigaron las Lauraceae brasileñas mediante 39 loci de alozimas polimórficas, demostraron que la diversidad genética entre poblaciones era bastante elevada, y mayor de lo que podía esperarse en grupos de plantas cuya estructura familiar es de hermandad consanguínea. Posteriormente, Moraes y cols. (2007) demostraron que la diversidad genética estaba ligada a una variación fitoquímica en los glucósidos flavonoides del follaje. Rodrigues y cols. (2008), quienes investigaron el venado de campo o de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*), un cérvido neotropical amenazado, y recurrieron al análisis del ADN polimórfico aleatoriamente amplificado (RAPD), demostraron que existe una variación genética considerable, aunque todos los individuos poseían fenotipos únicos. Estos y otros estudios similares sugieren que, en los trabajos de conservación dirigidos a la preservación de la diversidad genética, no se debe pensar en unas cuantas áreas naturales protegidas (por grandes que éstas sean), sino en un gran número de sitios que permitan conservar la constelación de poblaciones que integran la especie en cuestión.

En los hábitats marinos, la diversidad biocultural se conserva mediante el conocimiento ecológico local (CEL) que los habitantes de las costas poseen, utilizan para hacer un manejo adaptativo, y transmiten de una generación a otra (Berkes y cols., 2000). Los costeros acumulan conocimientos sobre ecosistemas y hábitats marinos, ciclos de vida de especies silvestres, ecología y condiciones locales del mar. En el mar, la domesticación fue menos importante que en los ecosistemas terrestres (Duarte y cols., 2007) hasta hace un siglo, ya que de entonces a la fecha se han domesticado mucho más especies acuáticas que especies terrestres debido al desarrollo exponencial de la acuicultura (Duarte y cols., 2007). Sin embargo, han surgido diferentes formas de acuicultura local básica o “engorda de organismos silvestres”, como se hace en las pesquerías marinas artesanales de grandes gasterópodos (como *Strombus* sp., en los países caribeños, y *Concholepas concholepas*, en Chile); bivalvos (como los mejillones, en varios países de ALC); crustáceos (como la langosta, en México); y algas (como el cochayuyo —*Durvillaea antarctica*—, en Chile) (Castilla y Fernández, 1998; Castilla y cols., 2007).

Actualmente, están empezando a aparecer estudios sobre la diversidad genética de las especies marinas en ALC. Por ejemplo, se descubrió que el molusco llamado

loco o chanque (*Concholepas concholepas*) (Cárdenas, 2007), cuyas larvas persisten largo tiempo en la etapa planctónica (más de 3 meses), tiene poca diversidad genética. En este estudio se detectó una menor biodiversidad molecular utilizando el ADN mitocondrial presente en muestras tomadas a lo largo de más de 5 000 km de línea costera, desde el centro de Perú hasta el sur de Chile. Sin embargo, nuevos estudios basados en microsatélites (Cárdenas y cols., 2007) sugieren que existe cierta estructura poblacional a lo largo del área de distribución geográfica de esta especie, y que los sistemas de retención oceánica (caletas, bahías, fiordos) tienen un rol importante en la estructuración de la población. Por otro lado, los grados de diversidad genética del sobreexplotado caracol trumulto (*Chorus gigantus*) se mantienen altos en Chile (Gajardo y cols., 2002). Las investigaciones sobre los diversos peces de ornato que se capturan para el comercio de acuarios en Brasil indican que algunas especies exhiben poca diferenciación genética entre poblaciones (Pram y Galetti, 2005). Dado el número de especies marinas y acuáticas que son capturadas en mares, ríos y lagos, en ALC se requiere investigar la diversidad genética mucho más a fondo.

2.2.8. Áreas críticas de biodiversidad

Las áreas críticas de biodiversidad —ACB, o *hotspots* (Myers y cols., 2000)— se definen con base en sus concentraciones de especies de plantas endémicas y el grado de amenaza que pesa sobre la supervivencia de largo plazo de los hábitats naturales presentes en los lugares donde se encuentran. En la definición original, para que un lugar pudiera considerarse como un ACB, debía tener al menos 1 500 especies de plantas endémicas (equivalentes a 0.6% de las 250 000 especies que, según se estimaba, habían sido descritas y denominadas hasta entonces) y no más de 30% de su hábitat original completamente intacto. El concepto de las ACB tiene por objeto resaltar las ecorregiones de mayor importancia por su biota única (representada por las plantas) y por el riesgo de extinción global de esa biodiversidad. Una definición más informal del concepto de ACB podría referirse a las áreas muy biodiversas en general.

La región de ALC alberga la significativa cifra de 7 de las 25 ACB del mundo, a saber: Mesoamérica, El Caribe, Chocó-Darién-Ecuador Occidental, Los Andes tropicales, el Cerrado Brasileño, la Mata Atlántica y la Región Central de Chile. Muchos científicos de ALC se encargaron de recopilar los datos originales que definieron dichas ACB. Las ACB latinoamericanas son ecorregiones cuyo bioma predominante es el bosque tropical, aunque también están representadas algunas islas y, por ende, muchas de ellas tropicales. Sin embargo, esta relación entre el bosque tropical y el endemismo no es universal. El elevado número de ACB presentes en ALC obedece a las altas concentraciones de taxones endémicos en los ecosistemas con clima mediterráneo (la región central de Chile); las ecorregiones áridas (los desiertos mexicanos y sudamericanos); las islas oceánicas templadas y las islas altitudinales (o ecológicas) de bosques templados (Sierra Madre Oriental y Sierra Madre Occidental, en México); los bosques de niebla o mesófilos de montaña de mediana elevación de Centro y Sudamérica; y las diversas variantes de selvas estacionalmente áridas, como las selvas bajas caducifolias de Meso América y los sistemas estacionales sudamericanos (el Cerrado, Chaco y las variantes más áridas de la Caatinga y las sabanas), a las que ya nos hemos referido. En este mosaico de ecorregiones ricas en endemismos se encuentra una exuberante colección de especies, géneros, familias y grupos funcionales de plantas y animales. En conclusión, varias líneas de evidencia subrayan la importancia de ALC como una región de gran endemismo, aunque, como también es evidente, será necesario seguir investigando.

Cabe destacar que la descripción anterior de las ACB se basa únicamente en las plantas vasculares y los vertebrados, de modo que pudiera tener sesgos. Como ya se explicó, la disminución latitudinal de la abundancia de especies de plantas vasculares en Sudamérica austral va de la mano con una tendencia inversa en las briófitas. Las costas sudoccidentales de América del Sur albergan más de 5% de las briófitas del mundo en menos de 0.01% de la superficie terrestre (Rozzi y cols., 2008) (Figura 8). A la larga, una vez que sepamos más sobre todos los grupos de organismos, es probable que aparezcan muchas ACB traslapadas, lo que mermará el poder del concepto. Sin embargo, por el momento se desconoce el grado de traslape.

Los ecosistemas marinos templados y tropicales de ALC no han sido analizados mediante el criterio de las ACB de Myers y cols. (2000), pero es indudable que tal empresa valdría la pena. La biodiversidad marina del norte, el centro y el sureste del Pacífico presenta varias características tan peculiares como interesantes. Esa región abarca la ACB de biota marina del Archipiélago de las Galápagos (invertebrados, algas y vertebrados). Al norte de las Galápagos existen importantes corredores biológicos marinos de especies pelágicas y bentónicas. Al sur del paralelo 42°S, poco más o menos, existen ecosistemas de fiordos y canales muy peculiares, algunos de los cuales se cuentan entre los más prístinos del mundo y que son homólogos de los ecosistemas de fiordos de la región que media entre Vancouver y Alaska. Las marcadas conexiones entre Sudamérica austral, la Antártida y Australasia dan origen a ACB de biotas marinas de aguas frías únicas en el mundo; asimismo, cabría pensar en toda la región de El Caribe como un ACB marina tropical.

2.2.9. Los últimos bosques

Los últimos bosques (UB, o *frontier forests*) se definen como las últimas extensiones intactas e ininterrumpidas de ecosistemas forestales naturales del mundo, que son suficientemente grandes para albergar poblaciones viables de toda la diversidad biológica asociada con los bosques, incluyendo los grandes mamíferos (Bryant y cols., 1997). Tanto la estructura como el funcionamiento ecológico de tales bosques deben depender de fenómenos naturales (p. ej., incendios, desprendimientos de tierra, etc.) y no ser ni artificiales ni inducidos. Los UB están bajo el predominio de especies de árboles nativos. En los UB se identifican ciertos valores, como los de conservación, recreación y capacidad de fijación de carbono, que van más allá de la mera riqueza biótica. Por consiguiente, el concepto de los UB es más integrador que el criterio de las áreas críticas de biodiversidad (ACB), aunque por el momento esté restringido a un solo ecosistema. Los UB tienden a corresponder a las áreas silvestres (*wilderness*) forestadas propuestas por *Conservation International* (Mittermeier y cols., 2002).

Según los criterios de los UB, 22% de los bosques del planeta cumplen los requisitos, y 75% de éstos se localizan en tres grandes ecorregiones que abarcan partes de siete países. ALC cuenta con la increíble cifra de 4.6 millones de km² de UB, equivalentes a 34% del total mundial. Éstas son las mayores extensiones de UB de ALC, listadas conforme al porcentaje del total mundial: Brasil (17%), Perú (4%), Venezuela (3%), Colombia (3%), Bolivia (2%), y Chile y Argentina (2%). Chile y Argentina poseen la mayor extensión de UB templados del mundo.

Mediante los datos sobre diversidad de especies de Bryant y cols. (1997), en la Figura 12 se comparan las áreas de UB (considerando sólo las mayores extensiones) de cada país de ALC, así como un estimado de la abundancia de especies de plantas vasculares de cada ecorregión. Aunque Brasil posee el UB más valioso de ALC, en lo que a cantidad absoluta de especies de plantas se refiere, Colombia le sigue muy de cerca. Sin embargo, Colombia alberga, y por mucho, el UB más biodiverso en cuanto a número de especies por unidad de área. Si utilizamos la conservadora cifra mundial de 270 000 plantas vasculares, el UB de Colombia, cuya extensión equivale a 15.4% del área ocupada por los UB de Brasil, alberga poblaciones de 13% de la flora vascular mundial en tan sólo 1.7% de la superficie terrestre del planeta. Aunque los UB templados de Chile y Argentina son relativamente pobres en cuanto a diversidad de especies, si se tiene presente que apenas 3% de los UB del mundo se encuentran en las zonas templadas, el valor de ese tipo de bosques es inmenso debido a su escasez global y a su capacidad de fijación de carbono en las latitudes templadas.

2.2.10. Las interacciones bióticas

La región de ALC se caracteriza por su riqueza de interacciones de plantas y animales, que van desde la especialización extrema hasta la generalización. Al igual que en otras partes, tales interacciones están organizadas en forma de complejas redes y suelen ser el objeto de estudio de biólogos especializados en reproducción vegetal, y ecólogos abocados a las comunidades. Entre esas interacciones están los mu-

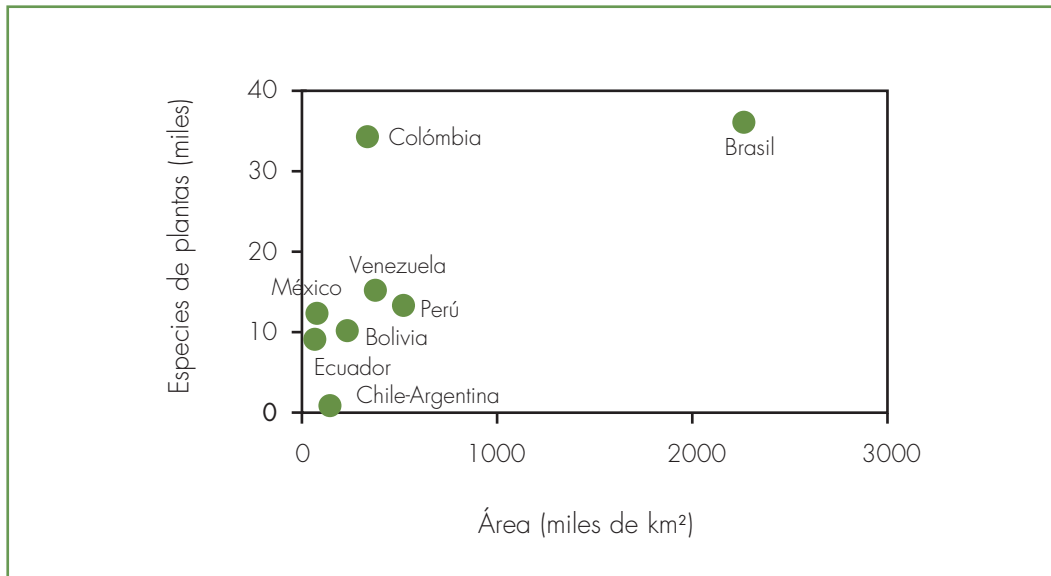


Figura 12. Extensión terrestre de los últimos bosques de América Latina y El Caribe, comparada con el número de especies protegidas en cada caso (Bryant y cols., 1997).

tualismos (polinización, dispersión de semillas, relación planta-hormiga) y antagonismos (herbivorismo y depredación de semillas). Además, en varios estudios realizados en ALC (p. ej. Cavieres y cols., 2005) se han descubierto interacciones positivas entre especies de plantas, en vez de la competencia habitual. En general, las interacciones bióticas están muy generalizadas en ALC, lo que explica la prominencia de la vegetación tropical y el hecho de que los bosques templados de Sudamérica, a diferencia de las latitudes templadas septentrionales, contengan muchas especies arbóreas polinizadas por insectos y dispersadas por diversos animales (Smith-Ramírez y cols., 2005; Armesto y Rozzi, 1989; Aizen y Ezcurra, 1998). Incluso en los ecosistemas más extremos, como sucede por arriba del límite arbóreo altitudinal en las altas montañas andinas, la polinización entomófila (Arroyo y cols., 1982; Medan y cols., 2002) y la depredación de semillas (Muñoz y Cavieres, 2006) están bien representadas.

Tales redes de interacciones de especies son de gran interés porque representan una fuente de mantenimiento, generación e interacción de la biodiversidad, y porque se reflejan en diversos procesos ecosistémicos (como la regeneración vegetal y la generación de diversidad genética) y servicios ecosistémicos (como la polinización, la fructificación y el control biológico de plagas). Sin embargo, esta cornucopia de diversidad biológica, que según nuestras especulaciones debe estar muy desarrollada en ALC, no ha sido evaluada de modo comparable con el de otros parámetros de la biodiversidad. Cabe señalar, no obstante, que ALC ha generado importantes conjuntos de datos vinculados sobre polinización (p. ej. Arroyo y cols., 1982; Morales y Aizen, 2006), dispersión de semillas (Galetti y Pizo, 1996) y herbivorismo (Lewinsohn y cols., 2006), mismos que han sido ampliamente utilizados para investigaciones recientes de tipo comparativo y teórico en la región. De hecho, es probable que se disponga de más conjuntos de datos vinculados sobre polinización en ALC que en muchas otras ecorregiones geográficas.

Un argumento teórico en apoyo de la anterior expectativa se basa en los primeros trabajos de Jordano (1987), seguidos, en América Latina, por otras contribuciones teóricas y empíricas relevantes (p. ej., Vázquez y Aizen, 2004; Lewinsohn y cols., 2006; Aizen y cols., 2008). Jordano (1987) analizó los patrones de vinculación e intensidad de dependencia recíproca que están presentes en los mutualismos, al comparar la fracción de posibles interacciones establecidas entre pares de especies en los sistemas planta-polinizador y planta-dispersor de semillas. Ese trabajo muestra que a medida que aumenta el número de especies en el sistema mutualista, lo mismo ocurre con el número absoluto de interacciones, pero en una tasa desproporcionadamente mayor que la esperada en función del número de especies de plantas y animales interactuantes. Por lo tanto, si se grafica el número de especies (número de especies de plantas y animales interactuantes) contra el número de interacciones, se tendrá una pendiente más pronunciada que la de una relación 1:1. Al poner a prueba esta hipótesis mediante datos empíricos (Jordano, 1987), se vio que la pendiente de la relación planta-frugívoro puede ser hasta 3.5 veces más pronunciada; es decir, que por cada nueva especie en interacción se generan alrededor de 3.5 interaccio-

nes adicionales. La cifra que corresponde a las interacciones planta-polinizador es de 2.0, es decir, que las interacciones de dispersión se duplican con cada nueva especie. Así, dada la gran diversidad de especies de plantas y animales (incluyendo polinizadores y dispersores) presente en ALC, es de esperar que exista una inmensa abundancia de interacciones ecológicas. En plan empírico, cabría esperar que en una gráfica de la diversidad de especies contra el número de interacciones, los puntos correspondientes a los datos de ALC cayeran a la izquierda de la línea y cada vez más apartados de la relación 1:1.

Mediante el uso de un marco de referencia integral para evaluar conjuntos de especies vinculadas por interacciones como la polinización, el frugivorismo o el herbivorismo, Lewinsohn y cols. (2006) afirmaron que las diferencias entre patrones de interacción son el resultado de distintos procesos evolutivos y ecológicos en comunidades sumamente diversificadas. Teniendo por modelo los insectos que se alimentan de las inflorescencias de las asteráceas, una de las familias de plantas más diversas y abundantes en los campos rupestres de la Serra do Espinhaço, Brasil, Lewinsohn y cols. (2006) propusieron que la mayoría de las interacciones que se observan en conjuntos dados de animales y plantas, se pueden representar como ordenadores de las entidades interactuantes que las posicionan en un continuo de patrones. Este continuo puede representar dinámicas coevolutivas que varían desde especialización secuencial, hasta mutualismos muy diversificados. Un metanálisis reveló que existen correlaciones de intermedias a altas entre la diversidad de las plantas y los herbívoros, lo que explicaría hasta 60% de la variación en la diversidad de las especies de insectos. La megadiversidad de los herbívoros tropicales se puede dividir de esta manera: a] más especies de plantas anfitrionas en sí; b] más especies de artrópodos por especie de plantas; c] mayor especificidad de los herbívoros respecto de la planta anfitriona; y d] mayor recambio de especies (diversidad beta) en los trópicos, en comparación con las zonas templadas (Lewinsohn y Roslin, 2008). Una conclusión importante de esta investigación es que se considera poco probable que el estudio de los componentes individuales permita identificar la aportación relativa de éstos a la diversidad total de los herbívoros. Por lo tanto, si se van a establecer comparaciones en mayor escala

deberá ponerse atención en los componentes combinados y en la diversidad beta de los herbívoros —componente d— (Lewinsohn y Roslin, 2008).

Valdrá la pena poner a prueba este tipo de hipótesis y sus repercusiones, mediante trabajos de muestreo comparables para una variedad de comunidades de plantas y animales, si se pretende evaluar plenamente este aspecto de la biodiversidad y la importancia relativa de ALC. Sin embargo, para que el rigor científico sea óptimo, será necesario que los ecólogos colaboren con los taxónomos. Para concluir este tema, las investigaciones de laboratorio en ALC están poniendo al descubierto algunas interacciones que se apartan de lo común. Por ejemplo, aunque se sabe que los abejorros visitan algunas flores rojas en el Hemisferio Boreal, los bosques húmedos templados de Sudamérica austral poseen una cantidad inusitada de plantas de flores rojas que son polinizadas por el único abejorro nativo (*Bombus dahlbomii*), perteneciente a un género principalmente paleártico que llegó al extremo meridional de Sudamérica. Se descubrió que las flores de algunas de esas especies, cuya apariencia es roja al ojo humano, también reflejan la gama azul del espectro lumínico. Seguramente existen muchos otros ejemplos de interacciones inusitadas en los ecosistemas de ALC que están en espera de ser descubiertos.

2.2.11. Perspectivas de la filogenética molecular y la genómica

Puesto que la filogenética molecular y la filogeografía permiten detectar: clados monofiléticos, momento de divergencia, tasas de especiación, especiación críptica, patrones de migración, dirección de la evolución de caracteres y magnitud de la diversidad filogenética, se trata de herramientas indispensables en la investigación moderna de la biodiversidad. Durante los últimos diez años, poco más o menos, hubo una explosión de estudios de filogenética molecular relacionados con grupos de plantas y animales cuyas áreas de distribución geográfica se encuentran principalmente en ALC. Y se están efectuando más estudios de ese tipo en laboratorios ubicados fuera de la región, que dentro de ésta. La mayoría de los estudios realizados en laboratorios de ALC proceden de Brasil, México, Uruguay y Chile. La Figura 13 mues-

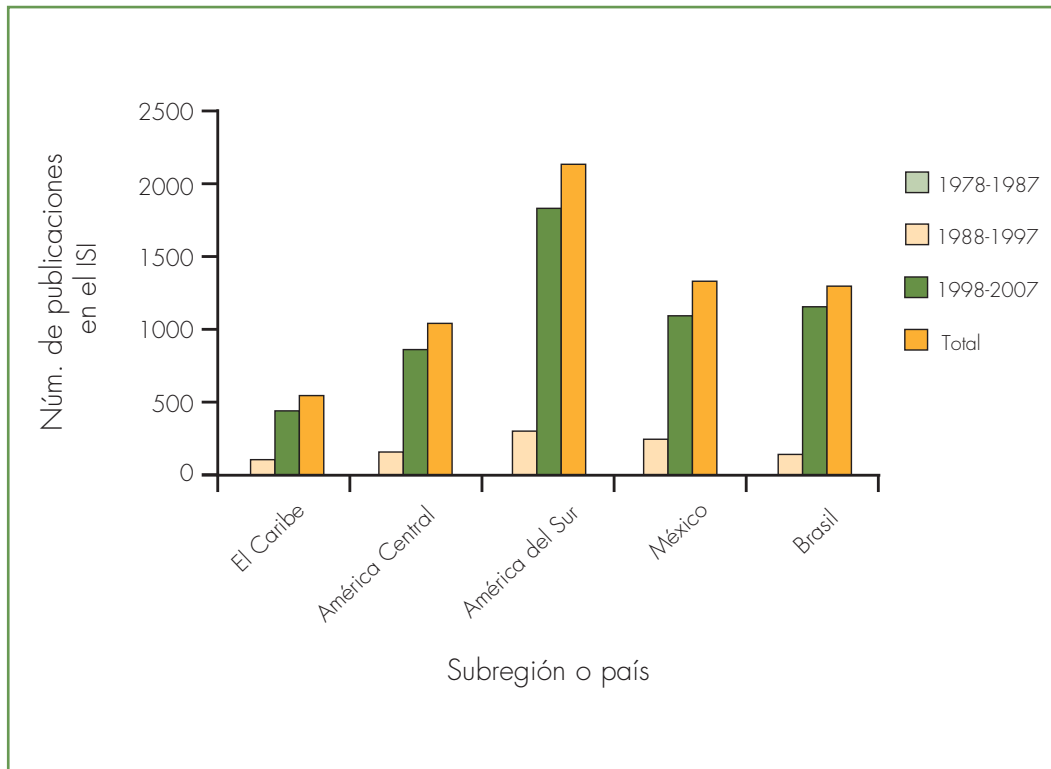


Figura 13. Estimación de las tendencias en la aparición de estudios filogenéticos moleculares sobre grupos de organismos distribuidos en América Latina y El Caribe en la red científica virtual del ISI, en distintos periodos y para diversas palabras geográficas clave (como se aprecia en el eje de las "x"), más la palabra clave: Filogenia.

tra el número de artículos del ISI relacionados con grupos de ALC, según diversas palabras de búsqueda en Internet. Desde luego, estas cifras no son exactas, pues no todos los estudios que incluyen filogenia y filogenética como palabras clave incluyen nuevos análisis filogenéticos. Por otro lado, el número de estudios real será subestimado porque cuando se estudian grupos taxonómicos ampliamente separados, las palabras geográficas clave que hemos usado en nuestras búsquedas no necesariamente están incluidas.

El creciente cúmulo de conocimientos filogenéticos está revelando hechos importantes sobre el origen y la diversificación de la biota de ALC. Por ejemplo, la región posee muchas familias monogénicas de plantas y animales (p. ej., Aextoxicaceae, Gomortegaceae, Ticodendraceae, Lacandoniaceae) que sólo se pueden definir como relictas o recién evolucionadas mediante estudios filogenéticos. Estamos descubriendo muchas cosas sobre la evolución de la biota neotropical. El origen evolutivo de las especies actuales del Neotrópico ha sido objeto de gran debate. Una hipótesis afirma que las especies neotropicales emergieron principalmente durante el Cuaternario (los últimos ~2 millones de años), favorecidas por la alternancia de climas glaciales e interglaciales. La otra propone un origen Terciario, mucho más remoto, vinculado principalmente a los cambios paleogeográficos. Una revisión integral de la literatura sobre datación molecular del ADN, que abarcó todos los grupos de organismos estudiados, indica que ambos periodos fueron importantes (Rull, 2008). Alrededor de 1 400 especies neotropicales cuyos orígenes han sido datados, aparecieron en forma continua desde fines del Eoceno/principios del Oligoceno (~39 millones de años AP) hasta el Cuaternario. Sin importar cuándo ocurrió la divergencia de los clados, ciertos grupos se han caracterizado por su rápida especiación. Por ejemplo, las muchísimas especies amazónicas del género *Guatteria* (Annonaceae) evolucionaron por especiación acelerada durante los últimos seis a siete millones de años, después de su migración inicial de Centroamérica a Sudamérica, antes del surgimiento del Istmo de Panamá, con migraciones posteriores de regreso a Centroamérica vía el puente terrestre panameño. Se detectó una especiación igualmente rápida en el género vegetal *Inga* (Richardson y cols., 2001), ocurrida desde hace 10 MA a la fecha, pero sobre todo en los últimos 2 MA debido a la elevación de Los Andes. También están apareciendo casos de especies crípticas, como la rana de la hojarasca, *Eleutherodactylus ockendeni*, lo que sugiere que nuestros conocimientos sobre la diversidad de especies de anuros de la región pudiera ser muy deficiente (Elmer y cols., 2007). *Puesto que el poder de la filogenética molecular es enorme para ilustrar esos patrones generales, esta ciencia de la biodiversidad debe recibir apoyos especiales en ALC.*

Los métodos filogenéticos indican que las interacciones de especies son muy inestables, como se observa en el género tropical *Costus*, en cuyo caso está demostrado que la polinización por colibríes ha evolucionado en varias ocasiones independientes (Kay y cols., 2005), y en el género de climas mediterráneos *Schizanthus*, de Sudamérica austral, en cuyo caso, la asociación entre los sistemas generales de polinización y el entrecruzamiento dio origen a sistemas especializados relacionados con la autopolinización estricta (Pérez y cols., 2006).

El estudio de la vicarianza y la biogeografía histórica han sido, de tiempo atrás, baluartes de la biogeografía latinoamericana (cf. Morrone y Crisci, 1995; Crisci, 1998; Crisci y cols., 2000; Posadas y cols., 2006). Si bien es cierto que las investigaciones filogenéticas han confirmado muchos casos de vicarianza, como por ejemplo, en las vertientes oriental y occidental de Los Andes, ahora se están descubriendo muchos casos de dispersión a gran distancia hacia Los Andes (p. ej., *Saxifragella* y *Saxifraga*, Soltis y cols. 2001; *Halenia*, von Hagen y Kadereit, 2003). También ha habido dispersión y colonización a gran distancia, en ambos sentidos, entre los desiertos de Norteamérica (que incluyen el norte de México) y Sudamérica (p. ej., *Hoffmanseggia*, Simpson y cols., 2005). De hecho, existen pruebas de enriquecimiento florístico por dispersión a gran distancia entre los bosques húmedos de África y Sudamérica (Pennington y Dick, 2004), y ya se confirmó que la dispersión a gran distancia explica varias disyunciones actuales entre los fragmentos de Gondwana (San Martín y cols., 2007). Todos esos descubrimientos sugieren que, si bien ALC estuvo aislada por mucho tiempo de otras masas continentales, su biota continúa enriqueciéndose con nuevos linajes. Morrone (2007) recomienda la inclusión más frecuente de un componente evolutivo en las investigaciones biogeográficas de América Latina. Asimismo, las investigaciones filogenéticas están cuestionando el dogma tradicional de que la biodiversidad de las tierras bajas siempre es más antigua que la presente en las grandes alturas andinas (p. ej., Hershkovitz y cols., 2006).

Las investigaciones filogenéticas están revelando tasas de especiación inesperadamente altas en los ecosistemas de gran altitud de los Andes, según se aprecia en trabajos recientes sobre géneros tan abundantes en especies como *Lupinus*,

Chaetanthera y *Astragalus* (Hershkovitz y cols., 2006; Hughs y Eastwood, 2006; Sherson y cols., 2008). Las tasas de especiación de *Lupinus* en Los Andes se cuentan entre las más altas del mundo, incluyendo las que ocurren en las islas. Los taxones de grandes alturas exhiben una evolución morfológica tan rápida, que muchos supuestos géneros son en realidad “variantes morfológicas” de otros géneros, como sucedió con un pequeño género patagónico endémico, *Hamadryas*, el cual, según se demostró recientemente, pertenece al género *Ranunculus* (Hoot y cols., 2008). Al mismo tiempo, los estudios filogenéticos pueden ayudar a dilucidar la antigüedad de ciertos eventos tectónicos, como la elevación andina (cf. Hershkovitz y cols., 2006; Soejima y cols., 2008).

Un campo de investigación teórica donde los conocimientos filogenéticos de ALC pudieran ser fundamentales, es el de las posibles diferencias en las tasas de especiación de los organismos tropicales y de climas templados. Se ha postulado que las tasas de especiación de las plantas pueden ser más altas en los trópicos (Wright y cols., 2006). Sin embargo, un estudio reciente (Weir y Schluter, 2007) sobre aves y mamíferos sugiere que las tasas de especiación y extinción son mayores en las latitudes templadas. Puesto que las tasas de especiación más altas pudieron ser causa de la mayor diversidad de especies de las latitudes tropicales, es indispensable seguir investigando el problema de las tasas de especiación (y extinción) en función de la latitud; y desde luego, muchos grupos de plantas y animales de ALC se prestan para ello, dada la amplitud de su distribución latitudinal.

Los conocimientos filogenéticos también son importantes para la toma de decisiones de conservación óptimas en ALC. Debido a la concentración de especies en las latitudes tropicales de la región, como ya se mencionó, las necesidades de conservación en las latitudes templadas de ALC tienden a recibir menos atención a pesar del valor, frecuentemente alto, de los servicios ecosistémicos de los ecosistemas templados. Será necesario investigar la posibilidad de que las latitudes templadas y tropicales no tengan grandes diferencias en cuando a diversidad filogenética se refiere, ya que la filogenética molecular es una herramienta indispensable para tal objeto. También la filogenética y la filogeografía pueden ayudar a responder interro-

tes relacionadas con los refugios del Pleistoceno y las tasas de expansión después del último máximo glacial (LGM) (cf. Lessa y cols., 2003), lo que nos dará información importante sobre la diversidad genética residual y ciertos indicios acerca del modo en que los organismos responderán al cambio climático.

La era de la secuenciación genómica abre la puerta para expandir inmensamente el alcance de los estudios sobre la biodiversidad por parte de ecólogos y taxónomos, y ALC no puede ser la excepción. Ya se completaron los genomas de varias especies de mamíferos de la región, o están a punto de ser completados como parte del proyecto Análisis Comparativo de Genomas de Mamíferos (un proyecto del National Human Genome Research Institute (NHGRI), ubicado en: <http://www.genome.gov/10002154>). Entre ellos, se encuentran el armadillo de nueve bandas (*Dasypus novemcinctus*), el cobayo o conejillo de Indias (*Cavia porcellus*) y el tlacuache o zarigüeya gris de cola corta (*Monodelphus domestica*) —secuencias completas—; la alpaca (*Vicugna pacos*) y el perezoso de dos dedos (*Choloepus hoffmanni*) —secuencias en proceso—; y el mono ardilla (*Saimiri* sp.) —a punto de empezar—. El tlacuache *M. domestica* es el primer mamífero monoterio del mundo cuya secuencia genómica completa se ha concluido (Mikkelsen y cols., 2007). Además, la distribución de algunas especies de *Peromyscus*, cuya secuencia está en proceso, llega hasta México.

Entre los invertebrados, se están determinando las secuencias genómicas de la chinche (*Rhodnius prolixus*), el principal vector de la enfermedad de Chagas, y del caracol (*Biomphalaria glabrata*), el principal vector de la esquistosomiasis, otra enfermedad tropical; algunas especies de la mosquita de la fruta (*Drosophila*), cuya secuenciación genómica está en proceso, son originarias de ALC. También fueron secuenciadas tres bacterias (*Xylella fastidiosa*, *Xanthomonas axonopodis* y *X. campestris*) que afectan a los cítricos y otros cultivos en las Américas (Simpson y cols., 2000; Da Silva y cols., 2002).

Por el momento, aún no se realiza la secuenciación genómica de ninguna planta doméstica de ALC. No obstante, en fechas recientes se creó un consorcio encabezado por instituciones neozelandesas y europeas con el objeto de secuenciar la papa (*Solanum tuberosum*).

La codificación genómica ("barcoding" o "dactiloscopía") de cada especie por medio de su secuencia genómica será una excelente herramienta para la investigación de la diversidad biológica en regiones de alta biodiversidad como ALC. El Consorcio para la Codificación Genómica de la Vida (Consortium for the Barcode of Life, CBOL) se ha propuesto como meta determinar el código genómico de 8 000 especies de plantas de Costa Rica (Marshall, 2005), en lo que será el tercero de los tres principales proyectos mundiales del consorcio. Se han hecho intentos de codificación genómica en otros grupos, como por ejemplo, los murciélagos neotropicales de Guyana (Clare y cols., 2007), con cierto éxito. Sobre decir que, para que el ecólogo pueda utilizar correctamente la codificación genómica en un estudio de campo, será necesario que un investigador pueda distinguir, también en el campo, entre especies estrechamente emparentadas.

Todos los proyectos de secuenciación genómica relacionados con especies de ALC han sido o están siendo abordados por grandes equipos internacionales, con salvedad de los genomas bacterianos más simples, que han sido secuenciados en Brasil y México. Esto recalca la importancia de aumentar la capacidad de vinculación en la región, de modo que sea parte de los avances vanguardistas en estas áreas.

2.2.12. Bioprospección

A pesar del concepto recién introducido de la química combinatoria de moléculas orgánicas, que ha sido posible gracias al desarrollo de los modernos métodos sintéticos automáticos, la biota nativa de ALC persiste como una fuente extraordinaria de nuevos compuestos bioactivos debido al descubrimiento de compuestos químicos para las industrias farmacéutica, cosmética y de control de plagas, así como de nuevos productos para la industria alimenticia. En Panamá se han logrado ciertos avances para hacer de la bioprospección una actividad aceptable y factible (Kursar y cols., 2007).

La necesidad global de conservar la biodiversidad de los países en vías de de-

sarrollo ha sido ampliamente citada como una manera de promover el desarrollo económico mediante incentivos para el aprovechamiento sustentable de los recursos genéticos nativos. Indudablemente, para descubrir nuevos productos es necesario evaluar grandes cantidades de extractos o posibles compuestos, mediante ensayos biológicos o bioquímicos preliminares que permitan predecir si hay una actividad correspondiente y específica en el organismo en cuestión. Las probabilidades de encontrar indicios positivos de compuestos bioactivos dependen del número de muestras analizadas, la diversidad de las mismas y la variedad de los ensayos.

Si se quiere establecer en ALC un programa de bioprospección competitivo y con capacidad suficiente para analizar millares de muestras, será necesario adaptar la pericia local a las nuevas necesidades. Es indudable que tal red no podrá competir con los países desarrollados en la búsqueda de nuevos productos, sobre todo los relacionados con “los problemas o las enfermedades de los países desarrollados”. Sin embargo, podemos aprovechar la experiencia de los grupos de investigación de ALC para crear estrategias similares a fin de resolver problemas regionales, en especial para combatir enfermedades como la leishmaniasis, el mal de Chagas, el paludismo, el dengue y otras enfermedades tropicales. Además, la diversidad química de las especies de la región también puede ser una útil fuente potencial de nuevos compuestos contra el cáncer, o actuando como antioxidantes, antimicóticos, antiinflamatorios o antibióticos.

La bioprospección —incluyendo la búsqueda de enzimas con utilidad industrial para la bioconversión, genes para aplicaciones biológicas moleculares y nuevos componentes nutritivos— representa para ALC una gran oportunidad de beneficio económico basada en el aprovechamiento sustentable de su enorme diversidad biológica, de modo que el valor económico potencial de su activo más abundante pueda convertirse en mejoras sustanciales para el nivel de vida de la región. Si se tiene en cuenta la diversidad y la abundancia de los grupos étnicos de ALC, el aprovechamiento de los conocimientos tradicionales, así como el conocimiento científico de las relaciones ecológicas entre plantas y sus enemigos naturales para orientar y facilitar la elección de objetivos de bioprospección, pero asegurando una parte justa y equitativa de

los beneficios económicos, tal como lo establece la Convención sobre Diversidad Biológica (CBD), la región tiene una enorme ventaja, en comparación con cualquier otra región del mundo, en cuanto se refiere a obtener beneficios reales de la bioprospección.

2.2.13. Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos pueden definirse como *las funciones naturales de un ecosistema que representan un valor agregado para el ser humano*. Se puede considerar que el concepto de los servicios ecosistémicos, en tanto noción sociológica, tendió un útil puente de investigación transdisciplinaria entre las ciencias biológicas y las sociales, y es apropiado para lograr los objetivos de desarrollo del milenio.

Los servicios ecosistémicos incluyen servicios de aprovisionamiento, regulación, culturales y de soporte, y éstos pueden ser directos o indirectos. Los beneficios directos van desde productos tangibles útiles para la humanidad, hasta procesos ecológicos que el ser humano aprovecha de forma inadvertida o intencional. Esto incluye el suministro de muy diversos productos alimenticios, plantas medicinales, fibras, forrajes, compuestos de valor farmacéutico, servicios de polinización por parte de polinizadores nativos, regulación del flujo del agua para consumo humano y usos agrícolas, y oportunidades recreativas. Los beneficios indirectos incluyen, entre otros: fijación de carbono y sus beneficios relacionados con la regulación del clima; prevención de erosión del suelo y desprendimiento de tierras; mejora de la calidad del aire; y conservación de la biodiversidad en sí. Ya hicimos referencia a servicios como la fijación de carbono en una sección precedente.

En el tema de dónde se encuentra ALC en cuanto se refiere a investigación de servicios ecosistémicos, resulta lógico concluir, dada la importancia de las tradiciones indígenas de la región, que ya existe en ésta un enorme cúmulo de investigaciones sobre las plantas medicinales, alimenticias y textiles presentes en sus ecosistemas naturales, pero bajo el disfraz de botánica económica y recursos genéticos. No obstante, esa información suele estar en forma de borradores o publicada en revistas cien-

tíficas locales de difícil acceso, si bien la publicación electrónica de muchas revistas de ALC ha sido de gran ayuda. En ese mismo sentido, las búsquedas nacionales de compuestos de valor farmacéutico son permanentes en algunos países de ALC (cf. Kursat y cols., 2007) y deberán recibir mayor impulso.

En fechas recientes, las repercusiones del cambio de uso del suelo sobre los servicios de polinización a los cultivos agrícolas han sido motivo de alarma mundial, lo que suscitó algunas de las primeras investigaciones sobre este servicio ecosistémico en ALC. En varios estudios (de Marco y Coelho, 2004; Chacoff y Aizen, 2006; Brosi y cols., 2007, 2008) se ha demostrado que la proximidad a los relictos de vegetación natural aumenta las tasas de los servicios de polinización nativa y los niveles de productividad de cultivos como la toronja y el café. En ALC, la colonización de los hábitats de tierras altas ha dejado muchos pequeños fragmentos forestales intactos, de modo que este servicio ecosistémico específico es, sin duda alguna, un importante mecanismo de respaldo cuando la polinización a cargo de abejas y abejorros introducidos fracasa. Al mismo tiempo, esos fragmentos forestales pueden prestar muchos otros servicios ecosistémicos, como la conservación de especies raras que no estén representadas en ningún área natural protegida mayor.

En el ámbito marino, Castilla (2005) analizó las pesquerías chilenas de moluscos (principalmente de loco, *Concholepas concholepas*) en pequeña escala, bajo el concepto de los servicios ecosistémicos. El mencionado autor concluyó que este enfoque resulta particularmente apropiado cuando la legislación pesquera contempla el uso de derechos de pesca exclusivos para los pescadores artesanales, y dondequiera que existan sistemas de control espacial para separar las flotas pesqueras industriales de las artesanales. Actualmente, un equipo multidisciplinario (ecólogos, ecónomos y sociólogos) está evaluando los servicios ecosistémicos relacionados con la red chilena de reservas y parques marinos costeros y las actividades de las pesquerías artesanales.

El reconocimiento del valor de las constelaciones de diversidad, el desarrollo de ecoturismo, etnoturismo y agroturismo orientado a los ecosistemas naturales y agrícolas, así como la diversidad biológica y cultural de ALC se han intensificado en la última década, con algunas variaciones entre países. Evidentemente, Costa Rica ocupa

el primer lugar, pues su industria turística (principalmente el ecoturismo) tuvo a principios de este siglo un valor de 1 200 mdd/año y fue la segunda fuente de ingresos del país. Los 60 000 turistas que visitan el Archipiélago de las Galápagos generan 100 mdd/año. Los parques y reservas de Brasil reciben 3.5 millones de visitantes anuales (<http://www.iadb.org/idbamerica/Spanish/JAN02S/jan02s6.html>).

Los países templados, como Chile y Argentina, han tendido a depender mucho de sus patrimonios escénicos, de modo que hasta ahora empiezan a percatarse del poder de combinar este recurso con los conocimientos sobre organismos individuales y la diversidad biocultural. Se han dado pasos enormes en la Reserva de la Biosfera de Cabo de Hornos, donde se ha hecho un trabajo excelente a fin de incorporar los conocimientos de los pueblos indígenas a las prácticas ecoturísticas. En el lado negativo, la huella de las emisiones de carbono relacionadas con los viajes aéreos a esos lugares tan distantes ha sido considerable.

Si bien es cierto que los usos antedichos de los servicios ecosistémicos son indudablemente mejores que la extracción total e incontrolada de recursos y la sustitución a matarrasa de bosques y otros ecosistemas, la afluencia de turistas a los parques nacionales y reservas naturales de ALC tiende al descontrol numérico. Entre los principales efectos negativos que cabe esperar en ALC destaca la introducción de especies de plantas foráneas, cuyas semillas y esporas, una vez transportadas por los turistas, aprovechan al máximo la perturbación y el pisoteo antropocéntrico del suelo y los cambios en la abundancia de los animales (y las algas en las zonas costeras). Con algunas excepciones notorias (p. ej., el Archipiélago de las Galápagos), no se cuenta con mecanismos de control estrictos. Todo esto resalta la necesidad imperiosa de contar con vigilancia constante y sistemas de alerta temprana en los parques nacionales y reservas naturales.

El poder de la valuación económica de los servicios ecosistémicos como una herramienta para promover el diálogo con gobiernos e iniciativa privada empieza a ser reconocido en ALC luego del artículo clásico de Constanza y cols. (1997), en el cual se calculó el valor económico global de los servicios ecosistémicos, y el último artículo de Balmford y cols. (2002), en el cual se estimó que la relación general de

costo:beneficio de un programa global para la conservación del valor de los hábitats silvestres, teniendo en cuenta los servicios ecosistémicos de estos últimos, es del orden de 1:100. Aunque no ha habido ningún intento específico de calcular el valor total de los servicios ecosistémicos de ALC en comparación con su valor mundial total, nos podemos dar una idea a través de los datos de Constanza y cols. (1997), quienes descubrieron que los servicios ecosistémicos de ciertas regiones, tanto de alta como de baja biodiversidad, se caracterizan por tener valores excepcionalmente altos. Entre ellas destacan la cuenca del Amazonas, las pampas argentinas, los bosques templados de Sudamérica austral, partes de la Mata Atlántica y el Cerrado de Brasil, y las regiones forestadas de América Central. Los estudios realizados después de Constanza y cols. (1997) demostraron que existen amplias diferencias en la importancia económica de la pérdida de servicios ecosistémicos entre los biomas representados en la cuenca del Río de la Plata (Viglizzo y Frank, 2006), mientras que el uso de datos de la región del Pantanal, mucho más precisos, arroja un avalúo inferior para esta región, en comparación con los cálculos de Constanza y cols. (1997). Entre paréntesis, estos ejemplos corroboran una de nuestras conclusiones previas, en el sentido de que los biomas son un descriptor de la vegetación demasiado burdo como para hacer estudios detallados.

Se estima que el valor de cada hectárea de bosque templado de Sudamérica austral, en tanto fuente de agua potable para consumo humano, oscila alrededor de 162 dólares durante los meses de verano, y de 61 dólares el resto del año (Núñez y cols., 2006). Urge encontrar maneras de promover en ALC la conservación de este servicio ecosistémico en particular (por ejemplo, mediante el avalúo económico), pues cerca del 50% del agua del planeta está destinada ya al consumo humano, y eso sin tener en consideración los efectos futuros del crecimiento demográfico y el cambio climático (Jackson y cols., 2001), y que los derechos sobre el agua están privatizados en algunos países, lo que implica el riesgo de que este recurso escaso sea monopolizado en el futuro. En cuanto a la superficie terrestre de ALC, no debemos soslayar que, proporcionalmente, esta región tiene menos agua que el promedio mundial de cuerpos de agua continentales.

Dada su concentración de megaciudades mundiales y su enorme contribución proporcional a la población urbana, el avalúo de los servicios ecosistémicos generados por la biodiversidad de las zonas urbanas de ALC es un campo de investigación esencial que apenas asoma en el horizonte. Las ciudades dependen de sus ecosistemas adyacentes, pero también se benefician con la sustentabilidad que les brindan sus árboles urbanos, jardines, parques, bosques urbanos, humedales, lagos, mares y ríos. Según un estudio reciente, el manejo de la vegetación urbana de Santiago de Chile (relictos de bosques naturales, árboles de las calles, parques y jardines) constituye una estrategia rentable para eliminar las partículas de menos de 10 μm suspendidas en su atmósfera contaminada (Escobedo y cols., 2008). Las calles y los parques de las ciudades latinoamericanas contienen gran diversidad de árboles y otras formas de vida, lo que posiblemente sirva de sustento a muchos invertebrados y aves. Nuestros conocimientos acerca de los servicios ecosistémicos específicos que muchas de esas especies pueden generar, así como del posible incremento del valor general de tales ecoservicios si se diversifica aún más la vegetación arbórea de las calles, son prácticamente nulos. Por ejemplo, si se logra establecer una mezcla de floración fenológicamente correcta entre los árboles urbanos tropicales, estos podrían alimentar poblaciones de abejas tropicales, como se observó en un experimento silvícola realizado en un área urbana de California (Wojcik y cols., 2008). En otro ejemplo, ¿a cuánto ascendería el valor turístico de un conjunto de árboles urbanos más diverso? En general, el desarrollo de la investigación de servicios ecosistémicos en las ciudades es un área sumamente interesante. Debidamente organizado, podría contribuir simultáneamente a la conservación de la biodiversidad y la educación de los millones de habitantes de las áreas urbanas de ALC.

Además, vale la pena mencionar que, según algunos expertos, contar con una economía basada principalmente en el valor de los servicios ecosistémicos será esencial para la conservación de largo plazo de los bosques amazónicos (véase Fearnside, 2008). No obstante, como el propio Fearnside señala, aún se carece de mecanismos institucionales e internacionales que permitan transformar el valor del bosque en una economía basada en la conservación forestal, en vez de en su destrucción. Ca-

be señalar que este último tipo de obstáculo se exagera aún más con la falta de información confiable sobre fijación de carbono, capacidad de retención de agua, etc., en la mayoría de los ecosistemas de ALC, de modo que si el avalúo de los servicios ecosistémicos es atractivo como una alternativa para evitar el reemplazo de los ecosistemas, en la práctica no siempre es posible llegar a las cifras exactas necesarias.

2.3. PRINCIPALES AMENAZAS PARA LA BIODIVERSIDAD DE ALC

2.3.1. Contexto

En un mundo cada vez globalizado, los seres humanos de ALC y de muchos otros lugares del mundo continuarán modificando a futuro la biodiversidad, sea en forma directa o indirecta, para bien o para mal, con o sin consentimiento, y hasta cierto punto, quizá por eso la presente evaluación es urgente. A medida que la integración regional de ALC vaya en aumento, los habitantes de cada país de la región ejercerán mayor presión sobre la biodiversidad de los países vecinos, sea por la introducción accidental de especies foráneas, la emisión de gases de invernadero en la atmósfera, o la comercialización de mercaderías específicas y, por ende, el aprovechamiento extractivo de recursos naturales.

En este contexto, las principales fuerzas causantes de pérdida de biodiversidad en ALC son el cambio del uso del suelo (deforestación, fragmentación, tala y quema), la sobreexplotación, el cambio climático, la depauperación genética, las especies invasoras y, sobre todo en los ecosistemas acuáticos, la contaminación y la acidificación de los océanos. Ya aludimos, de paso, a varias de las consecuencias de tales fuerzas. Muchos de los efectos de ellas están íntimamente vinculados mediante complejas redes de interacción, por lo que llegar a entender por completo sus efectos combinados sobre la biodiversidad será uno de nuestros retos futuros. En un estudio (Sala y cols., 2000), se llegó a la conclusión de que, en el caso de los ecosistemas terrestres, el cambio del uso del suelo tendrá mayor impacto que el cambio climático, el que, a su vez, tendrá mayores consecuencias que el intercambio biótico. Es

probable que esta conclusión general sea aplicable a toda ALC; sin embargo, carecemos casi por completo de estudios detallados en las escalas espaciales locales.

Las principales amenazas que pesan sobre la biodiversidad marina de ALC son: la sobrepesca, vía aceleración de la rotación de los componentes de las comunidades marinas al pescar exhaustivamente las redes tróficas (Castilla, 1997; Pauly y cols., 1998; Jackson y cols., 2001; Myers y Worm, 2003); la contaminación costera, que ya ha causado graves deterioros locales en la biodiversidad marina de algunos países de ALC (Castilla y Nealler, 1978); y la homogenización de la biodiversidad marina por el aporte de especies marinas invasoras, sea transportadas accidentalmente por las embarcaciones, o intencionalmente con fines comerciales (p. ej., acuicultura; véanse Carlton y Geller, 1993; Castilla y Neill, en prensa).

2.3.2. Cambio en el uso de suelo

Deforestación

En 2005, los bosques del mundo cubrían alrededor de 4 000 millones de hectáreas. La deforestación, principalmente la que se hace para convertir bosques en campos agrícolas, sigue eliminando 13 millones de hectáreas anuales. Sudamérica sufrió la mayor reducción forestal neta en el periodo 2000-2005, pues ésta fue del orden de 4.3 millones de hectáreas anuales. Centroamérica y El Caribe registraron una pérdida neta de 231 000 ha. Según la FAO, la tasa de deforestación de América del Sur está aumentando en vez de disminuir. Los bosques tropicales de las costas del Pacífico de América Central cubrieron 55 millones de hectáreas en otros tiempos; hoy, queda menos de 2% de esa cubierta forestal. Actualmente, los bosques de Cuba abarcan menos de 13.4% de su territorio nacional. Sólo 4% de los 100 millones de hectáreas originales de la Mata Atlántica de Brasil sigue cubierto de bosques relativamente prístinos. Además, los métodos agrícolas modernos han convertido muchos cafetales de sombra en plantaciones de café de sol, destruyendo así el hábitat de muchas especies de fauna silvestre y aves migratorias. Puesto que la Mata Atlántica constituye

una provincia biogeográfica por derecho propio (Morrone, 2001), este hecho es sumamente inquietante.

Hoy, el extenso Cerrado Brasileño está desapareciendo a un ritmo equivalente a más del doble de los bosques húmedos del Amazonas (Machado y cols., 2004). Según cifras aproximadas, alrededor del 75% de este bioma persistió relativamente intacto hasta la década de los años de 1960 (Cavalcanti y Joly, 2002). Antes de la llegada de técnicas modernas para corregir sus suelos ácidos y oligotróficos, con sus altas concentraciones de aluminio, lo que facilitó el cultivo de soya y las plantaciones de eucalipto, la mayor amenaza para el Cerrado se encontraba en el Estado de Minas Gerais, donde lo estaban convirtiendo en carbón para la industria acerera. En particular, a medida que el mundo puso sus ojos en los bosques de dosel cerrado, el cultivo de soya y la silvicultura de plantación han ido penetrando profundamente en los ecosistemas áridos y semiáridos altamente endémicos, pero menos carismáticos de ALC, como el Cerrado Brasileño y la vegetación de clima mediterráneo de Chile central. A medida que Brasil empezó a usar la caña de azúcar para producir etanol como combustible automotriz, enormes extensiones del Cerrado, una de las regiones más biodiversas de Brasil, fueron destruidas. Tan sólo en el Estado de São Paulo, entre 1962 y 2002, más de 90% del Cerrado fue reemplazado por plantaciones de caña de azúcar, naranjos o eucaliptos. A estas fechas, el Cerrado, que cubría originalmente el 14% del Estado de São Paulo (unos 35,000 km²), abarca menos de 1% de esa entidad, y ha sido fragmentado en 8,500 pequeños relictos (Kronka y cols., 2005).

Para los fines de la presente evaluación, será instructivo analizar las trayectorias recientes de la deforestación mediante dos parámetros complementarios: la tasa anual de deforestación, expresada como un porcentaje de cambio, y como la pérdida anual de área absoluta, mediante las estadísticas de la FAO por país durante el periodo 2000-2005 (Figura 14). Las cifras oscilan entre un dramático 5.7% anual, en Haití, hasta un optimista 0.1%, en Chile. América del Sur exhibe valores porcentuales de pérdida anual relativamente bajos y la cifra más alta (1.2%) le corresponde a Ecuador, seguido por Argentina con 0.8%. El resto de los países tienen valores

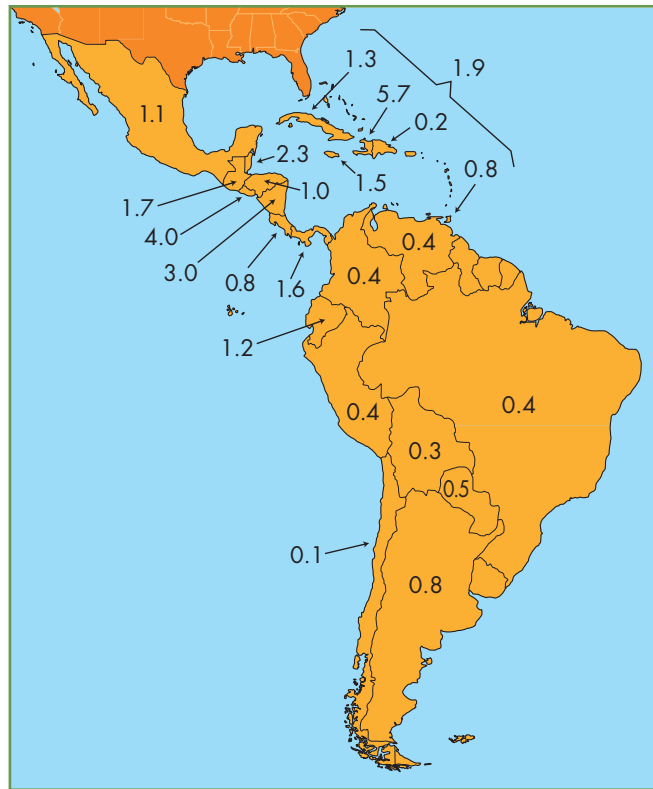


Figura 14. Tasas de deforestación de los países de América Latina y El Caribe, expresadas como porcentajes de pérdida anual de bosques. No se dispone de datos para todos los países de El Caribe. Para dicha región, se muestra un promedio calculado con base en los datos de los países que aparecen en el mapa (Informe Anual 2008, FAO).

menores o iguales a 0.5, y cuatro de ellos exhiben una pérdida anual del 0.4%, entre estos Brasil, un país famoso por sus altos índices de deforestación, sobre todo en la Amazonia. América Central es otra región con elevadas tasas de deforestación, pues todos los países, con excepción de Costa Rica, tienen tasas de deforestación anual mayores o iguales al 1.0%, entre ellos El Salvador, Nicaragua y Belice, con pérdidas forestales anuales del 4, 3 y 2.3%, respectivamente. El Caribe tiene un prome-

dio de 1.9% por país, una cifra que es elevada, desde luego, aunque oculta la considerable variación entre los datos de los países que cuentan con información, misma que oscila entre 0.2% anual de Puerto Rico, y el extremo antedicho de 5.7% anual, en Haití. Los valores porcentuales son útiles porque, por ejemplo, aunque la pérdida de área absoluta de Haití es relativamente chica, representa un porcentaje significativo para un país tan pequeño. Por el contrario, la pérdida porcentual anual relativamente baja de Brasil representa una deforestación absoluta muy elevada, pues se aproxima a tres millones de hectáreas anuales.

En otra manera de poner a América Latina en contexto, resulta informativo comparar los diez países con las tasas de deforestación anual absoluta más altas durante el periodo 2000-2005 (Figura 15). Este grupo de países incluye a Brasil, México,

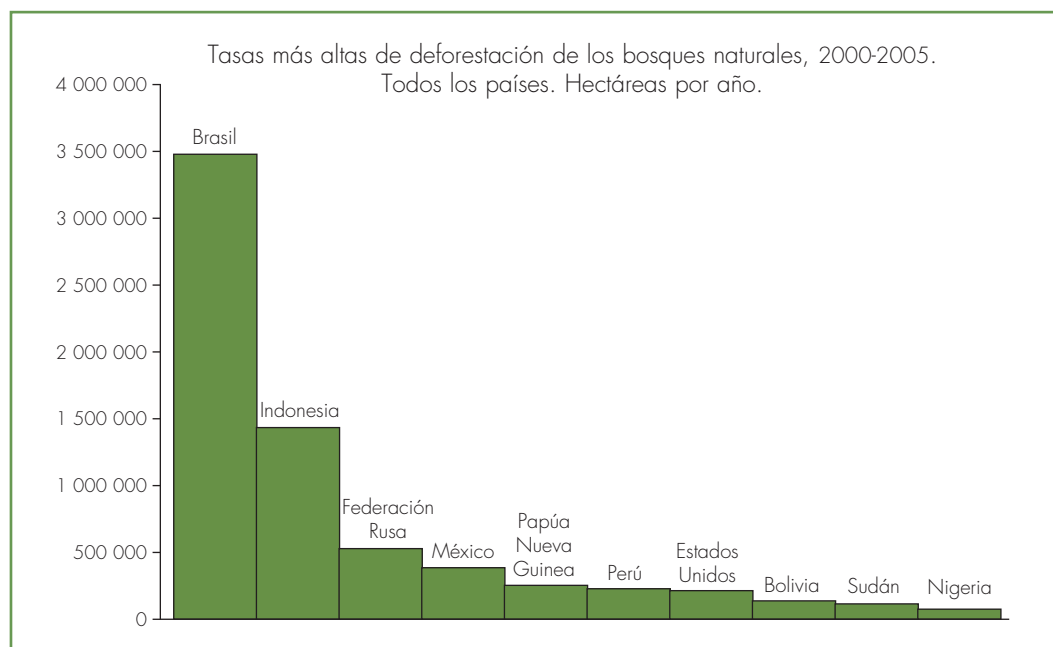


Figura 15. Países con mayores tasas de deforestación (ha/año) del mundo (periodo 2000-2005). Basado en datos del Global Forest Resources Assessment 2005 de la FAO (FAO, 2005).

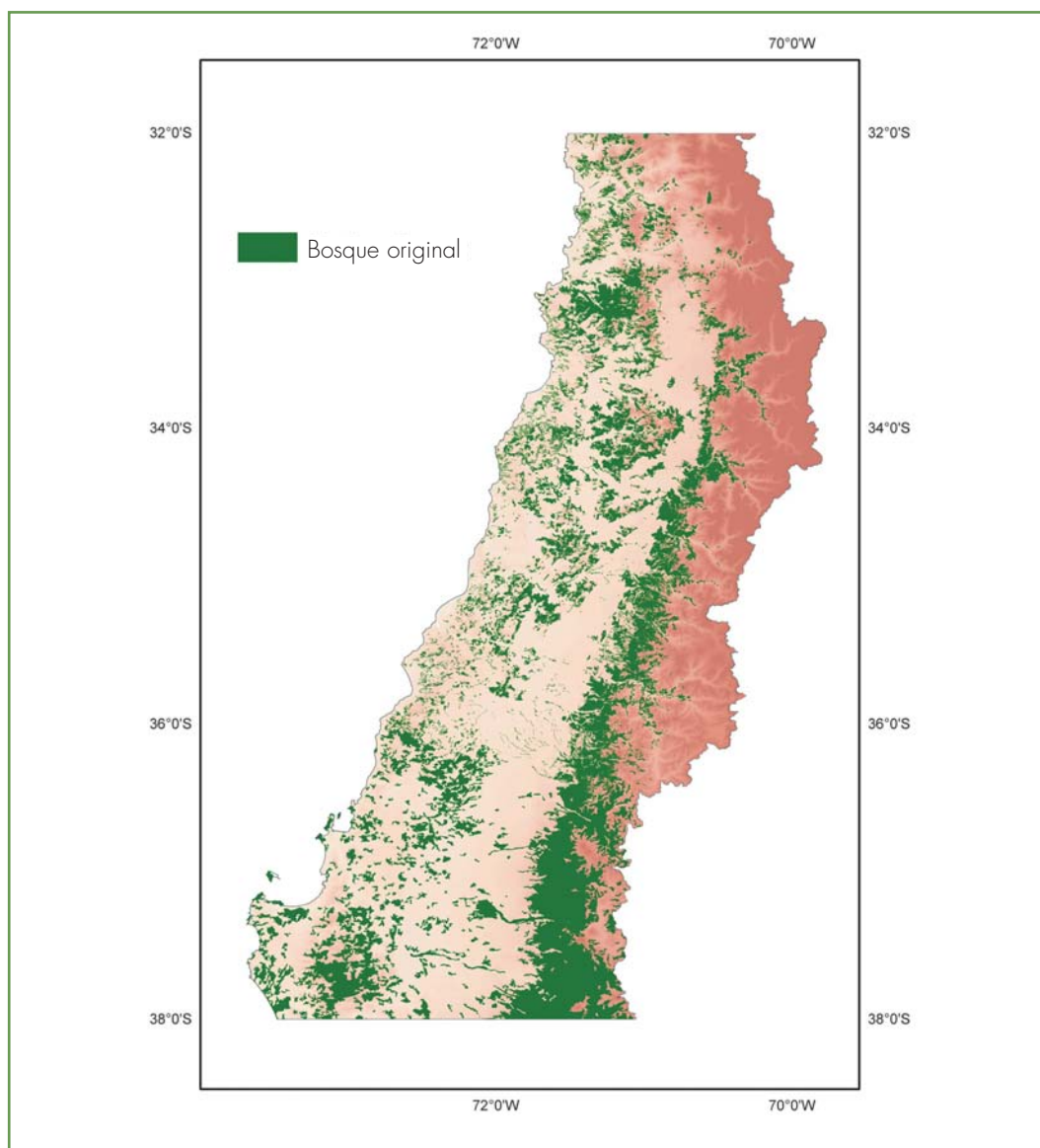


Figura 16. Fragmentación del hábitat en el área crítica de biodiversidad de la Región Central de Chile. Imagen reproducida con permiso y tomada de la tesis de Maestría (inédita) de Patricio Plischoff. Facultad de Ciencias, Universidad de Chile (Plischoff, 2003).

Perú y Bolivia, que ocupan las posiciones primera, cuarta, sexta y octava, respectivamente. No obstante, la deforestación también ha sido intensa en los países templados de ALC, como se aprecia en el ACB de Chile central, donde hoy los bosques de tipo mediterráneo están muy fragmentados (Figura 16) y las plantaciones predominan en algunos lugares (Arroyo y cols., 2005). Esta evaluación llega a la conclusión de que la situación apremiante causada por la pérdida de bosques y otras comunidades forestales de los climas húmedos y áridos de ALC es sumamente preocupante. Será necesario investigar mucho más sobre las consecuencias de la deforestación y la fragmentación y su mitigación.

Incendios

Los incendios han sido recurrentes durante milenios en todas las latitudes de ALC, por lo menos a partir del último máximo glacial (LGM), incluso en los bosques australes húmedos templados y fríos (Abarzúa y Moreno, 2008). Según un reciente análisis mundial de los restos de carbón vegetal, los ecosistemas templados registraron menor actividad de incendios intermitentes durante el periodo postglacial (21 000-11 000 años AP) que en el presente. Por el contrario, en las latitudes tropicales se registró mayor actividad de incendios en el periodo 19 000-17 000 años AP que en la época actual (Power y cols., 2007). En general, Sudamérica tuvo menos incendios que en el presente durante el Holoceno, de 6 000-3 000 años AP. La intensificación de los incendios en los bosques templados australes coincide con el surgimiento del sistema de El Niño (Abarzúa y Moreno, 2008). Los incendios arcaicos se debieron a fenómenos naturales, principalmente relámpagos, pero también al vulcanismo y a la fricción entre rocas.

La magnitud y la frecuencia de los incendios actuales inducidos (ya sea por desmonte, pastoreo o causas accidentales) excede por mucho la tasa de fondo antedicha, aunque este tipo de estudios generales de referencia pueden deformar lo que ocurre en ciertos ecosistemas, y no todos ellos pueden ser tratados de la misma manera. Los bosques de dosel cerrado son los más vulnerables. Por cuanto se refiere al

impacto, la tasa de mortalidad de árboles y arbustos después de un incendio en los bosques amazónicos es de 36-96% (Hoffman y cols., 2003). Un estudio de gran escala demostró que los rodales forestales de la cuenca del Amazonas con antecedentes de cinco o más incendios, presentan una reducción promedio superior a 50% en la acumulación de carbono (Zarin y cols., 2005), lo que caracteriza a los bosques estructuralmente depauperados y con mermas en sus servicios ecosistémicos.

El fuego, no obstante, es uno de los mayores determinantes del Cerrado Brasileño, las pampas del sur de Brasil, Uruguay y Argentina, y las sabanas de Venezuela y Colombia (Sarmiento y Monasterio, 1971; San José y Fariñas, 1971; Coutinho, 1978; Medina y Silva, 1990; Bóo, 1997). En las sabanas no antrópicas del norte del Estado de Roraima, Brasil, el porcentaje medio que se calcinó en todos los ecosistemas durante el periodo 1999-2000 fue de 38%, con un promedio de incendios cada 2.5 años (Imbrozio Barbosa y Fearnside, 2005). En las pampas, la frecuencia de los incendios se estima en 7 a 10 años. Los incendios de las pampas son de baja intensidad, debido a que el material combustible procede de pastos, de modo que el fuego tiene poco o ningún efecto en los árboles (Guevara y cols., 1999). Las especies de la sabana toleran el fuego mucho mejor que las especies forestales; en el Cerrado Brasileño, los incendios provocan tasas de mortalidad de 5-19% entre los árboles y arbustos de la comunidad; en un bosque caducifolio boliviano quemado, la mortalidad fue de 21% (Pinard y cols., 1999).

Existe consenso en que el fuego ha estado presente en las sabanas tropicales por miles de años, conformando el paisaje y seleccionando la flora y fauna adaptada (Miranda y cols., 2002). Anderson y Posey (1989) observaron que los indígenas kayapó quemaban el Cerrado por cuestiones estéticas, así como para reducir las poblaciones de serpientes y alacranes y facilitar las caminatas entre la vegetación. La época de quemas dependía de indicadores astrológicos, meteorológicos y ecológicos. Un indicador temporal era la floración del árbol pequí (*Caryocar brasiliense*), un recurso clave para los indígenas. De hecho, según los estudios lingüísticos, las tribus del Cerrado poseían un nutrido léxico de sinonimias para "fuego" e "incendio". Todo esto sugiere que el fuego también tuvo un papel importante en tiempos precolom-

binos. Sin embargo, una vez que los seres humanos empezaron a vivir en grupos sociales, la frecuencia de las quemas e incendios aumentó considerablemente respecto de la tasa de fondo natural (Ramos-Neto y Pivello, 2000).

Aunque el cambio de paradigma de una dinámica de equilibrio a una visión desequilibrada del funcionamiento de la sabana sugiera que ciertas perturbaciones, como el fuego, pueden generar y sustentar la coexistencia de árboles y pastos en las sabanas al generar heterogeneidad ambiental, hacen falta más investigaciones para determinar cuál es el régimen de incendios óptimo para los ecosistemas de ALC. Por otro lado, el hecho de que los legisladores no estén debidamente informados sobre los avances recientes de la ecología del fuego, se ha traducido en políticas de manejo inadecuadas para el control de incendios en las reservas naturales. Las políticas de supresión total surgen de actitudes conservadoras y se basan en ideas anticuadas sobre los efectos dañinos de los incendios en áreas silvestres. A modo de ejemplo, la política de supresión total del fuego resultó inadecuada en las reservas naturales del Cerrado. Cuando hay acumulación de materiales combustibles, los incendios tienden a ser más calientes y extensos, por lo que su control requiere esfuerzos colosales y gastos enormes. En el otro extremo, la intensificación del uso del fuego para el control de los pastizales del Cerrado y los Llanos está reduciendo la densidad de las plantas leñosas. Por el contrario, en el Chaco, la exclusión del fuego y el pastoreo ha permitido que la densidad de las plantas leñosas aumente (Bustamante y cols., 2006).

En todo caso, y sin lugar a dudas, las verdaderas amenazas para las sabanas sudamericanas son la ganadería extensiva, la expansión agrícola y las especies invasoras. Algunos estudios (Cavalcanti y Joly, 2002; Silva y cols., 2006) han demostrado que, a partir de la cría de ganado en bajas densidades y con impacto casi nulo de hace 40 años, el uso del suelo del Cerrado cambió al establecimiento de pastizales inducidos con pastos africanos o a la moderna agricultura mecanizada, con sus técnicas de desmonte rápido de grandes extensiones y un aumento de la fertilidad del suelo mediante la aplicación de cal y fertilizantes. Hoy, la producción de soya (que en su mayor parte se exporta a China para consumo animal) es la principal

causa de destrucción de millones de hectáreas de sabanas y selvas bajas caducifolias en Brasil, Bolivia, Paraguay y Argentina. De cualquier modo, ha llegado el momento de hacer una sinopsis de la información sobre los efectos del fuego en los ecosistemas de ALC.

2.3.3. Sobreexplotación

En los ecosistemas terrestres, sabemos que varias plantas nativas de ALC han sido gravemente dañadas por la sobreexplotación, pues hay tendencia a tomar medidas de protección sólo cuando la situación se vuelve crítica. Tomemos el caso del palo de Brasil (*Caesalpinia echinata*), el árbol que dio nombre a Brasil. Este árbol de lento crecimiento, originario de la Mata Atlántica, fue aprovechado por los portugueses a su llegada, en 1500. La especie fue comercializada intensamente por más de 500 años, inicialmente como fuente de un colorante rojo, y después por su madera. Desde principios del siglo XIX, el duramen del palo de Brasil se ha usado para construir arcos de violines, violas, violoncelos y contrabajos. Debido a la sobreexplotación, así como a la destrucción del hábitat causada por la constante expansión de las ciudades capitales del noreste de Brasil, *C. echinata* se convirtió en una especie amenazada. Hoy, sus poblaciones conocidas son muy pequeñas y están esparcidas (Cardoso y cols., 2005), y figura en la Lista Roja de la UICN desde 1994 con la categoría de Amenazada (UICN, 2007). Por fortuna, se están haciendo esfuerzos por conservar su germoplasma (García y cols., 2006). Aunque la legislación brasileña suspendió el aprovechamiento extractivo y la exportación de la especie hasta el establecimiento de criterios técnicos científicamente validados para garantizar la sustentabilidad de su aprovechamiento y la conservación del material genético de esas poblaciones, se tienen muchas pruebas de la continua y alta demanda internacional de su madera e indicios de comercio ilegal. Aunque existe poca información sobre las consecuencias actuales del aprovechamiento extractivo para el comercio internacional, todo parece indicar que eso reduciría aún más las poblaciones, a tal grado que la especie cumpliría los requisitos para ser incluida en el Apéndice I de la CITES. Ante esta

situación, los científicos de la biodiversidad, debemos ser capaces de aportar pruebas, de una u otra manera.

Otra especie vegetal explotada casi hasta la extinción en Brasil es el palmito (*Euterpe edulis*), una palma nativa de la Mata Atlántica cuya distribución iba desde el sur de Bahía (15°S) hasta el norte de Río Grande do Sul (30°S), principalmente en las costas. Del palmito se aprovecha el cogollo de la planta, es decir, la exquisitez formada por el meristemo apical y las hojas tiernas e indiferenciadas. Puesto que las palmas tienen un solo tallo, es necesario matar la planta para extraer el cogollo, y su producción es absorbida por un sólido y creciente mercado interno. Un destino muy parecido tuvo la palmera de vino chilena (*Jubaea chilensis*), cuyo género endémico es monotípico, que fue aprovechada para extraer un producto melífero. De cada individuo sacrificado se obtenían alrededor de 700 l de jarabe, mismos que se consumían como miel o se fermentaban para producir una bebida alcohólica. Aunque hoy está protegida, la palma de vino es rara en estado silvestre. La reciente publicidad acerca de esta especie ha sido de gran ayuda para su causa.

Hoy, el palmito brasileño de exportación procede casi enteramente de *Euterpe oleracea*, una palma de tallos múltiples, nativa de la región amazónica, que se conoce localmente como asaí, y cuyo fruto también se utiliza comercialmente para elaborar bebidas energéticas. Aunque se han propuesto sistemas de manejo sustentable para el asaí (Reis y cols., 1999a), en la región prevalece todavía el criterio de la ganancia inmediata, de modo que esta especie está sujeta a un aprovechamiento extractivo tan intenso como depredatorio. Actualmente, el aprovechamiento extractivo clandestino es una práctica común en los bosques públicos y privados. La reducción de las poblaciones naturales del asaí puede tener un efecto de cascada en la fauna nativa de frugívoros, pues se trata de una de las especies clave en su alimentación (Galetti y Aleixo, 1998). Los estudios genéticos de las poblaciones naturales mediante microsatélites y alozimas marcadoras han demostrado que la especie presenta altos grados de entrecruzamiento y flujo génico, así como altos niveles de variabilidad genética dentro de las poblaciones y poca divergencia genética entre poblaciones (Reis y cols., 1999b). En sus poblaciones naturales, la especie presenta

altas densidades y una estructura de edades en forma de "J" (Reis y cols., 1999a, b). Actualmente, las poblaciones naturales están muy fragmentadas y, a pesar del alto índice de entrecruzamiento de la especie, también ocurren cruzamientos entre individuos estrechamente emparentados, lo que tiene el potencial de generar efectos de endogamia.

Otras especies de plantas que han sido sobreexplotadas en ALC son: la yareta andina de lento crecimiento (*Azorella compacta*), que la industria minera de cobre utilizó como combustible en Chile a principios del siglo XX. Hoy, la especie está protegida y una compañía minera ha expresado su deseo de financiar estudios para promover su restauración. Se considera que la naranjilla o lulo (*Solanum quitoense*), otra planta de gran valor comercial nativa de Ecuador y Colombia, también ha sido sobreexplotada. Por supuesto, estos ejemplos son apenas la punta del iceberg. La recolección de bulbos y semillas silvestres con fines comerciales, tanto dentro como fuera del país, es constante en la región de Chile con clima mediterráneo; otro tanto sucede con las plantas de uso medicinal, pero esto irá disminuyendo ahora que el gobierno está incluyendo muchas especies en las listas de la UICN.

Entre los animales, el cocodrilo del Orinoco (*Crocodylus intermedius*) destaca como especie sobreexplotada, pero existen muchos otros animales cuyas poblaciones están siendo calladamente eliminadas. Según la Base de datos de Comercio y Medio Ambiente (Trade and Environment Database, TED, www.american.edu/TED/ted.htm), el tráfico ilegal de pieles procedentes de México alcanza millones de dólares anuales en el mercado negro. Estados Unidos y otros 114 países firmaron la CITES, que prohíbe el comercio de pieles de reptiles y mamíferos de especies amenazadas; sin embargo, es sumamente difícil hacer cumplir esa normatividad. Año tras año, se extraen de ALC miles aves y mariposas exóticas, animales para el tráfico de mascotas y fósiles, lo que constituye un lucrativo negocio. Según un informe reciente de la Rede Nacional de Combate ao Tráfico de Animais Silvestres (RENCTAS), la policía confiscó en 2005 más de 50 000 animales capturados en una parte de la Mata Atlántica de Brasil, lo que representó un gran aumento en comparación con los 15 000 incautados cinco años antes.

Más de 50% de la biomasa mundial de peces marinos se ubica en la categoría de aprovechamiento total, y el volumen global de pesca exhibe una tendencia al descenso, de cerca de 100 millones de toneladas anuales hace 10 años, a 80 o menos millones de toneladas anuales en la actualidad. ALC ha estado sujeta a sobreexplotación debido a su excesivo esfuerzo pesquero, al aumento de las flotas de este tipo y a los incentivos gubernamentales, factores que al combinarse con fenómenos naturales como El Niño, han contribuido a reducir de modo alarmante las pesquerías marinas (p. ej., la anchoveta y la sardina, en Perú y Chile). Tal sobreexplotación ha afectado por igual a las pesquerías industriales y a las artesanales (Castilla, 1997).

Sin embargo, en los ecosistemas marinos suele ser difícil demostrar el efecto de los métodos de aprovechamiento extractivo sobre la biodiversidad, principalmente por lo difícil del acceso a los ecosistemas oceánicos y porque se dispone de menos información taxonómica básica y datos de distribución que en los ecosistemas terrestres. Es bien sabido que el abuso en el aprovechamiento extractivo de los depredadores grandes y eficientes (tiburones y otros animales) de los ecosistemas oceánicos trae consigo una reducción en los volúmenes de pesca debida al deterioro de las redes tróficas. En ALC, este tipo de modificación de los ecosistemas ha sido estudiado en el Ecosistema de Humboldt del norte de Chile. La conservación de especies marinas con valor comercial se relaciona directamente con este aspecto crítico del funcionamiento de los ecosistemas. En la mayoría de los casos, tales efectos ecosistémicos se deben a la sobreexplotación causada por flotas industriales reguladas mediante políticas de libre acceso a los recursos pesqueros o basadas en estrategias jerárquicas de tipo descendiente o de control y comando (Defeo y Castilla, 2005).

2.3.4. Contaminación y deficiencias en el manejo

Los efectos de la contaminación son particularmente evidentes tanto en los ecosistemas acuáticos como marinos. Dicha contaminación puede ser consecuencia de las actividades industriales o de los propios métodos de aprovechamiento extractivo. El aumento de la acuicultura (tanto marina como de agua dulce) ha sido considerable,

de 4.3 millones de toneladas (1979-1981) a 35.3 millones de toneladas (1999-2000) (tablas de datos sobre tendencias mundiales de los ecosistemas costeros y marinos, WRI). Según las predicciones del crecimiento de esta industria, se alcanzará una producción mundial aproximada de 80-90 millones de toneladas anuales (lo que equivale, aproximadamente, a la captura anual total presente de recursos marinos silvestres). Según las tablas de datos sobre tendencias mundiales de los ecosistemas costeros y marinos del World Resource Institute (WRI), la acuicultura marina del sur de Chile (cultivo del salmón) asciende actualmente a más de 400 toneladas anuales, lo que la ubica en segundo lugar después de la de Noruega. Si bien es cierto que la tasa de aprovechamiento extractivo de los bosques templados australes disminuyó en la última década, la acuicultura del salmón ha penetrado en algunos de los fiordos más prístinos del mundo, ubicados en el sur de Chile.

Entre los principales problemas asociados con la acuicultura marina en ALC están: a] la descarga de desechos disueltos y suspendidos en los ecosistemas (sobrecarga de nutrientes); b] los conflictos con la industria turística por el uso de los espacios costeros disponibles; c] la introducción accidental o intencional de especies cultivadas de peces, moluscos o algas en el medio silvestre, lo que puede afectar negativamente los recursos o ecosistemas naturales debido a intercambios genéticos o interacciones ecológicas entre las cepas cultivadas y las poblaciones silvestres; y d] la introducción de especies acuícolas foráneas, lo que implica el riesgo de nuevas enfermedades, parásitos y especies invasoras. Como hecho notorio, la acuicultura ocupa el segundo lugar, después del transporte marítimo, como vector de introducción de especies foráneas en los ecosistemas marinos. Este año, las enfermedades virales del salmón han devastado la región productora del norte de Chile.

La contaminación industrial parece haber afectado ya las poblaciones de algas brasileñas, donde varias especies pertenecientes a diversos grupos, pero principalmente a las feófitas y rodófitas, han declinado en la región de Santos, São Paulo, con reducciones de 63 y 38% en el número de especies, respectivamente (Giulietti y cols., 2005b). En Chile, las industrias mineras de cobre y hierro descargan metales pesados en las zonas costeras del norte del país. Según investigaciones experimentales recien-

tes, las concentraciones de cobre detectadas en el campo son suficientes para inhibir el desarrollo inicial de las etapas esporofítica y gametofítica de las algas (Contreras y cols., 2007). Por lo tanto, cabe suponer que los casos de este último tipo son mucho más comunes de lo que suponíamos con base en la observación o los estudios experimentales efectuados en la región, pues la vigilancia de los proyectos de desarrollo resulta insuficiente. Es imperativo que los científicos de ALC realicen más investigaciones de tipo preventivo para evitar esta clase de desastres.

2.3.5. Invasiones biológicas

Se considera que las invasiones biológicas son una de las manifestaciones más veloces del cambio global y que representan una amenaza cada vez mayor para la biodiversidad (Sala y cols., 2000). Las especies invasoras pueden afectar la biodiversidad nativa al eliminar especies locales mediante competencia por el espacio y los recursos, depredación e introducción de enfermedades. El ser humano está transportando especies de plantas y animales a todas partes del mundo, sea en forma intencional o accidental, a velocidades que exceden por mucho las tasas base del intercambio biótico; además, dichas tasas irán en aumento a medida que avance la globalización. Entre los casos intencionales destacan las introducciones de nuevas plantas alimenticias y ornamentales, animales de interés cinegético, mascotas, etc. Las introducciones accidentales llegan con las descargas de aguas de lastre de los navíos, las importaciones de frutas y verduras, el calzado y la ropa de los viajeros, los muebles de maderas importadas, las maderas de importación, y el lodo adherido a las ruedas de los vehículos, para mencionar sólo algunas de las principales vías de introducción. Si tomamos como ejemplo la región de ALC, la flora nativa del Archipiélago de las Galápagos recibió, por dispersión natural a larga distancia, aproximadamente una nueva especie de plantas cada 100 000 años en el transcurso de sus 3 millones de años de existencia (Porter, 1983). En los últimos 20 años, el ser humano ha facilitado la introducción de plantas a razón de diez especies anuales, es decir, una tasa 100 000 veces mayor que la tasa basal natural (Rejmánek, 2005).

Una vez establecidas, las especies invasoras más agresivas avanzan con rapidez. Si tomamos otra vez un ejemplo de ALC, los científicos encargados de estudiar la rana africana de uñas, *Xenopus laevis* (Lobos y Jaksic, 2005), liberada en 1973 en un arroyo cercano al aeropuerto internacional de Santiago de Chile, descubrieron que ésta había invadido el entorno a razón de 3.1-5.5 km/año, y que para 2005 ya se había extendido a cuatro demarcaciones políticas chilenas. Puesto que muchas especies de plantas invasoras suelen ser malezas, también pueden afectar las actividades agrícolas, silvícolas y de pesca, y atestar las fuentes de agua. En Estados Unidos, el control de las especies invasoras agresivas ha tenido un cuantioso costo económico (Pimentel y cols., 2000). Por nuestra parte, simplemente no tenemos idea de las pérdidas económicas totales que las especies invasoras han ocasionado en ALC.

Aún está pendiente que los científicos se pongan de acuerdo en una definición universal de las invasiones provocadas por el intercambio biótico antropocéntrico (véanse, por ejemplo, Pysek y cols., 2004; Valéry y cols., 2008; y Rejmánek, 2005). Algunos expertos reservan la palabra invasión exclusivamente para las especies foráneas (es decir, no nativas, exóticas o introducidas); otros incluyen las especies nativas con tendencias invasoras. Algunas definiciones se concentran principalmente en el proceso de intercambio, mientras que otras lo hacen más en las consecuencias. En lo que se refiere a la afectación de la biodiversidad, la definición surgida de la Sexta Conferencia de Miembros (COP6) de la Convención sobre Diversidad Biológica (CBD, 2002), nos parece la más apropiada: **especie foránea invasora** es cualquier subconjunto de una especie foránea cuya introducción o diseminación ponga en peligro la diversidad biológica. Esta definición hace eco a la de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, 2000), según la cual, se considera como **especie foránea invasora** cualquier organismo foráneo que se haya establecido en un ecosistema o hábitat natural o seminatural, y que actúe como agente de cambio y ponga en riesgo la diversidad biológica nativa. Según estas definiciones, se entiende por especie foránea aquella que ha sido introducida en cualquier región ajena a su área de distribución natural. Por cuestiones prácticas, los

límites políticos nacionales suelen definir las unidades de comparación, pero resulta evidente que esta opción tiene muchas y graves limitaciones.

Los conocimientos sobre las especies invasoras o potencialmente invasoras son muy asimétricos entre los países de ALC en cuanto a la información existente; lo que se puede encontrar fácilmente en cada país; y el alcance de las investigaciones. Esto refleja, en buena medida, las diferencias en los grados de exploración de la biota nativa, lo que suscita cierta apatía, e incluso desdén, hacia el estudio de las especies foráneas en los países que aún se están esforzando por completar sus inventarios básicos. La fuente de información más abundante de ALC son las listas de especies foráneas que se anexan a los tratados florísticos y faunísticos. Cuando se dispone de tales listados, las especies foráneas presentes en los hábitats terrestres tienden a ser proporcionalmente más abundantes en las latitudes templadas, como se observa en las 690 especies presentes en una flora total aproximada de 5 000 especies en Chile (Arroyo y cols., 2000), versus las 595 que han invadido una flora de ca. 16 000 especies en Ecuador (Jørgensen y León-Yáñez, 1999) y las 618 especies introducidas en México, cuya flora total asciende a 23 000 especies (Villaseñor y Espinosa-García, 2004); además, en todos los casos se observa mayor abundancia de especies de origen europeo. Cuando se analiza el tiempo mínimo de residencia, tales listas revelan un flujo constante de especies foráneas a partir de la llegada de los europeos. Aunque el tema no ha sido investigado, es muy probable que algunas plantas hayan sido llevadas de un lugar a otro por los amerindios. En el caso del mar, los conocimientos sobre las especies foráneas de cada país aún son muy limitados. En Chile se han identificado alrededor de 25 especies invasoras o foráneas entre los invertebrados marinos bentónicos de vida libre (Lee y cols., 2008).

Para descubrir las tendencias generales de las invasiones en ALC (a diferencia de las introducciones de especies foráneas *sensu lato*), utilizamos la información de la base de datos global de especies invasoras (www.issg.org/database/species/search.asp?st=100ss), cuya información ha sido organizada mediante un conjunto de estándares en común, y que exige pruebas de afectación grave antes de incluir una nueva especie. Por supuesto, estamos concientes de que no todas las especies

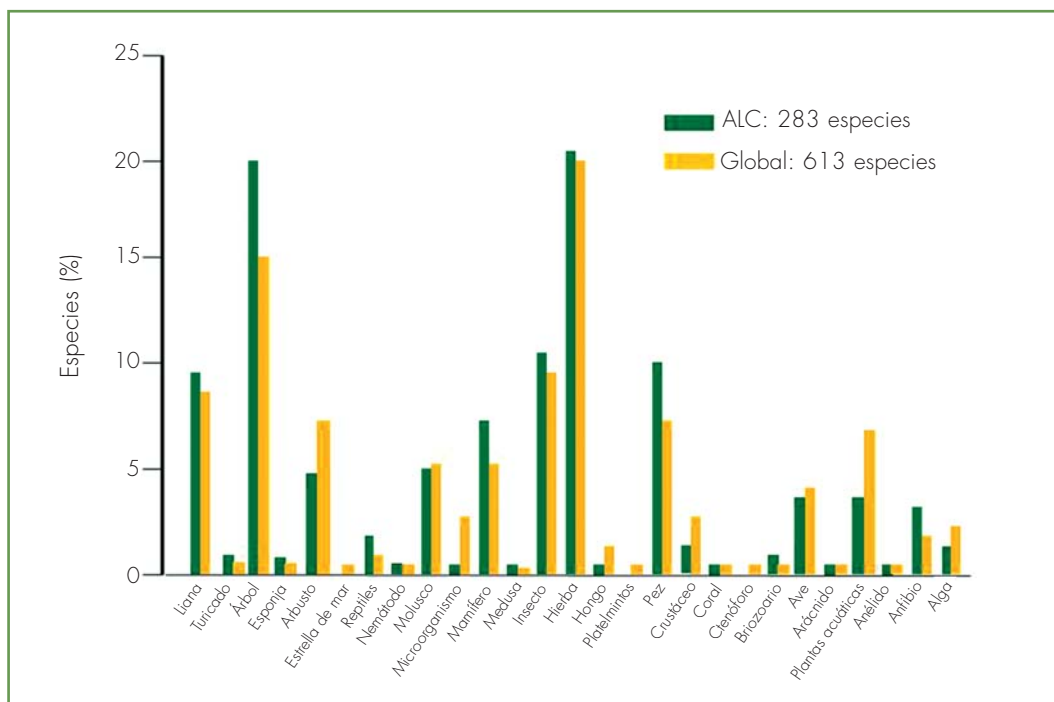


Figura 17. Especies de América Latina y El Caribe que aparecen en la base de datos global de especies invasoras (www.issg.org/database), ordenadas por grupos de organismos y comparadas con el conjunto total de especies que aparece en dicha base de datos para las mismas categorías.

agresivamente invasoras de ALC están registradas en dicha base de datos. De las 613 especies claramente invasoras que se encuentran en este acervo, 283 (46%) están registradas como invasoras en uno o más países o territorios de ALC. La distribución de dichas especies (Figura 17) indica que ALC ha sido invadida por casi todos los grupos identificados como invasores, lo que incluye plantas, vertebrados, invertebrados, microorganismos y hongos. Además, los territorios de ALC han recibido 54 de las 100 peores especies invasoras listadas en la base de datos global de especies invasoras. Sin embargo, es demasiado pronto para definir si la región ha sido invadida en mayor o menor grado que otras partes del mundo.

Como lo indica la longitud relativa de las barras en la Figura 17, que se basan en los datos actuales, los territorios de ALC han sido invadidos principalmente por árboles, lianas y enredaderas, mamíferos, peces, anfibios e insectos (aunque éstos últimos de modo marginalmente más intenso) en comparación con las frecuencias relativas de tales grupos en el ámbito mundial. Por el contrario, todo indica que ALC ha sido invadida en menor grado por arbustos, microorganismos, hongos, plantas acuáticas, plantas terrestres herbáceas, algas y aves. Dado el nivel actual de los conocimientos en este campo, aún están por verse las connotaciones de tales tendencias, y de hecho, si éstas corresponden auténticamente a la realidad; no obstante, es bien sabido que unas cuantas especies leñosas agresivas pueden alterar considerablemente la biodiversidad, y otro tanto sucede con los insectos. Actualmente, una proporción muy elevada de las especies invasoras se encuentran en 1-5 territorios de ALC (76%),

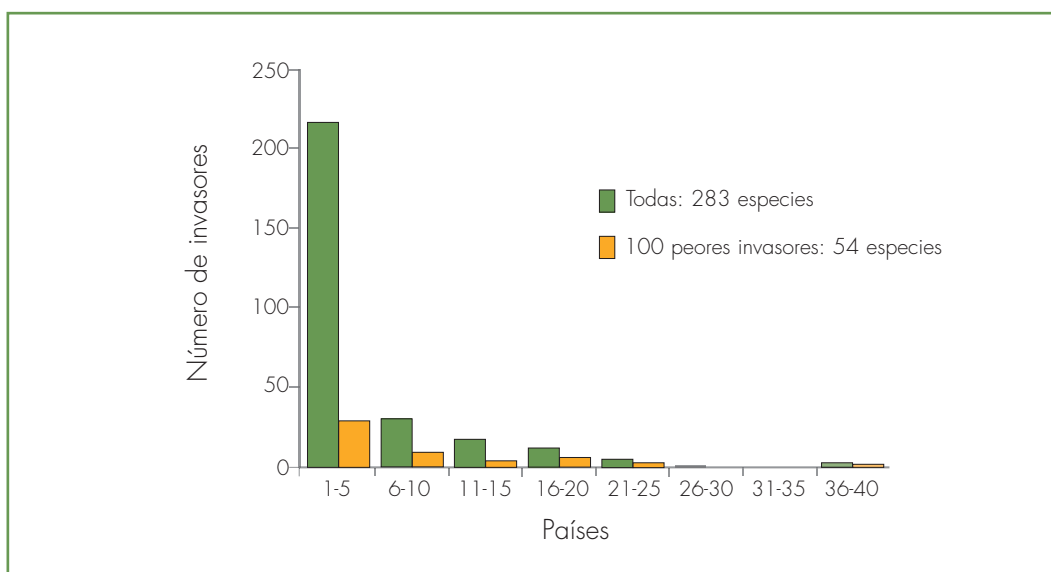


Figura 18. Grado de penetración de las especies invasoras en América Latina y El Caribe, medido por el número de países/territorios ocupados por éstas en su conjunto (según la Base de datos global de especies invasoras, www.issg.org/database/), y comparando dicho conjunto con las 100 peores especies invasoras del mundo.

y sólo un par de especies están presentes en más de 75% de los países o territorios (Figura 18). Todavía está por verse si eso significa que muchas especies invasoras seguirán extendiéndose por ALC en el futuro. De hecho, la distribución geográfica de las 100 peores especies invasoras presentes en ALC (Figura 18) sugiere precisamente eso, lo que debe ser motivo de alarma y prueba de la necesidad urgente de desarrollar sistemas de alerta temprana. En cuanto a este último conjunto de especies, la media de los países o territorios de ALC invadidos es de cinco especies, en comparación con los dos de la lista completa.

De forma contraria a la tendencia que se observa en la biodiversidad nativa, al parecer el tamaño del territorio no es un buen vaticinador del número de especies invasoras en ALC (Figura 19). En muchos casos, los territorios continentales, por lo general más vastos, han recibido el mismo número de especies invasoras que los pequeños territorios isleños. La ausencia de relación entre el tamaño del área y el número de especies invasoras resulta lógica, pues el intercambio biótico promovido por el ser humano, sea de modo intencional o accidental, es independiente del tamaño del país. Sin embargo, puesto que los países pequeños tienen tantas especies invasoras como los países más grandes de ALC, el riesgo de afectación grave por parte de éstas pudiera ser mayor en las pequeñas naciones isleñas.

Sobra decir que los simples datos porcentuales sobre las especies invasoras, si bien son útiles para detectar patrones mundiales, pueden ser engañosos en lo referente a los efectos reales de tales especies, lo que subraya nuevamente la necesidad de hacer estudios más detallados. Un caso relevante se relaciona con los vertebrados foráneos de Chile, que representan apenas 3.9% de la fauna vertebrada del país. Sin embargo, el simple conejo europeo ha bastado para afectar gran parte del país. Las cabras han despojado grandes áreas de la vegetación única del Archipiélago de Juan Fernández, lo que ha facilitado el establecimiento de muchas especies de plantas foráneas. En la remota región del Cabo de Hornos, las 12 especies de vertebrados foráneos y tres especies de peces exóticos encontradas hasta la fecha representan más del 50% de las especies pertenecientes a dichos grupos (Anderson y cols., 2006). En Tierra de Fuego, en el sector chileno, una de las especies invasoras más dañinas pa-

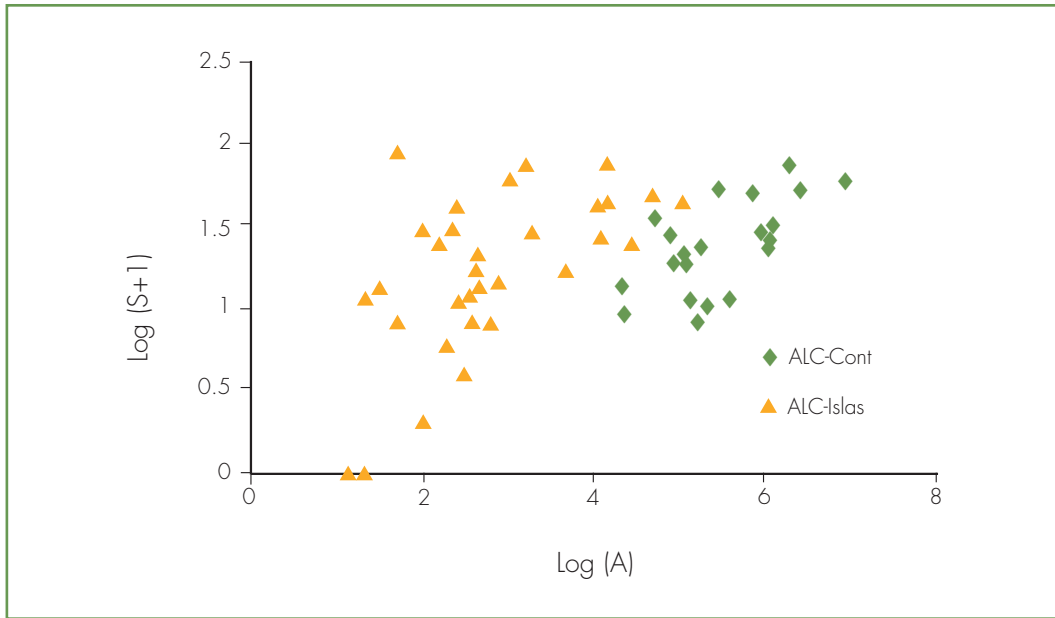


Figura 19. Comparación del número de especies invasoras, en relación con la superficie terrestre, entre los países/territorios insulares y continentales de América Latina y El Caribe. Datos tomados de la base de datos global de especies invasoras (www.issg.org/database).

ra ALC, el castor norteamericano (*Castor canadensis*), se multiplicó en ausencia de depredadores naturales, a partir de las 25 parejas introducidas inicialmente en Argentina en 1946, hasta abarcar 70 000 km², con densidades de 5 a 6 colonias/km de río (Lizarralde y cols., 2004), causando graves inundaciones y la transformación de inmensas extensiones forestales en ciénagas de musgos (*Sphagnum* spp.). Hasta hace poco, más de medio siglo después, las autoridades chilenas y argentinas empezaron a pensar seriamente en cómo resolver este desastre ambiental sin precedentes. En el Archipiélago del Cabo de Hornos, se informó que el visón americano (*Mustela vison*) alcanzaba en 2006 densidades de 0.79-1.32 individuos/km² en las costas de la Isla Navarino, pese a que prácticamente no había sido detectado, a partir de su

introducción a principios de la década de 1940 (Anderson y cols., 2006), debido a la escasez de científicos en el área. Estos últimos ejemplos subrayan la necesidad de contar con datos cuantitativos sobre las especies invasoras, sistemas de alerta temprana y más biólogos de campo que lleven a cabo el trabajo necesario.

A medida que se concentre más atención en las especies foráneas de ALC, es de predecir que el número de especies foráneas consideradas agresivamente invasoras aumentará en forma exponencial y que habrá cientos de nuevos informes en ese sentido. Predecimos, asimismo, que el intercambio de especies terrestres en el sentido este-oeste de Sudamérica, traerá consigo grandes problemas debido al transporte de especies subtropicales, a través de Los Andes, hasta las zonas agrícolas de riego de las regiones con clima mediterráneo y desértico. Para darnos una idea de lo que cabe esperar, la Iniciativa de Especies Invasoras Marinas de la región del Caribe detectó recientemente 118 especies de algas foráneas (López y Krauss, 2006), aunque aún se ignora el grado de daño que esos organismos pudieran causar. En un reciente censo mundial de invasiones por algas, publicado por Williams y Smith (2007), el número de algas invasoras conocidas se elevó, con el de otras 117 especies adicionales, algunas de las cuales son originarias de ALC. Sin embargo, una vez más, aún no se sabe cuánto daño pudieran causar esos organismos. Aunque se afirma que el pasto sudafricano *Eragrostis plana* cubre actualmente alrededor de 10% de los pastizales del sur de Brasil (Ziller, 2006), esta especie aún no figura en la base de datos global de especies invasoras. También se tienen indicios de que el pino californiano (*Pinus radiata*), una de las dos principales especies arbóreas silvícolas de Chile, es capaz de invadir los campos agrícolas adyacentes (Bustamante y Simonetti, 2005).

En el caso de los insectos, el abejorro paleártico (*Bombus terrestris*), que fue liberado en las costas chilenas como polinizador del tomate en 1997, abunda hoy en el valle central, fue localizado a 3 400 m.s.n.m. en Los Andes, y logró cruzar la cordillera andina para invadir Argentina (Montalva y cols., 2008) Queda pendiente estimar el impacto de ésta y otra especie de abejorro introducido, *B. ruderatus*, en la biodiversidad nativa. Por mencionar otro ejemplo, ciertas chinches apestosas de Etiopía aparecieron recientemente en Brasil (Panizzi, 2002). A medida que el intercam-

bio comercial entre los países de ALC aumente, es muy probable que algunas plagas muy dañinas empiecen a aparecer en muchos países. Por ejemplo, hace poco, un estudiante de posgrado capturó en un campo universitario chileno una especie de abeja xilófaga del género *Xylocopa*. Un par de meses después, se informó que la misma abeja estaba destruyendo la madera de los árboles nativos en pie.

El pez león (*Pterois volitans*), que es nativo del Pacífico occidental y Oceanía, ha sido detectado en Estados Unidos, las Islas Bermudas y Puerto Rico desde el año 2000. Se cree que fue liberado en forma accidental o intencional por algún aficionado a los acuarios (Chevalier y cols., 2008), pero el hecho es que empezó a invadir El Caribe, consumiendo en el proceso muchos otros organismos marinos. Dada su enorme capacidad de dispersión y elevada tasa reproductiva, se trata de una especie que será muy difícil de eliminar o controlar, de modo que representa una amenaza para el equilibrio ecológico de los arrecifes de coral. En fechas igualmente recientes, se introdujo en Cuba como fuente alimenticia un pez de agua dulce del género *Claria*, mismo que hoy se considera un peligro potencial para la ictiofauna de la isla, que es altamente endémica.

El número creciente de turistas (y embarcaciones) que visitan la Antártida, aunado al calentamiento climático, es motivo especial de preocupación en lo que a especies invasoras concierne. Durante la temporada turística 2006-2007, la Asociación Internacional de Operadores de Turismo de la Antártida (IAATO) esperaba recibir al menos 28 000 visitantes. Además, según se informa, la Antártida recibe cada temporada de verano hasta 10 000 científicos, lo cual significa mayor riesgo de invasión. En el medio terrestre, tres especies de angiospermas habitan actualmente en la Antártida: *Deschampsia antarctica*, *Colobanthus quitensis* y *Poa annua*. Se considera que la última de ellas fue introducida en la Isla del Rey Jorge alrededor de 1985, debido a las actividades humanas en el área. También se detectaron centollas del Atlántico del norte cerca de la península Antártica (news.nationalgeographic.com/news/2006/07/060706-antarctica_2.html). Los científicos del Instituto Antártico Chileno encontraron anticuerpos contra *Brucella* spp. en algunos osos marinos y una foca de Weddell. Puesto que Chile y Argentina han reivindicado formalmente sendas partes del territorio de la Antártida, ambos países tienen, al menos desde nuestro punto

de vista, la responsabilidad especial de ampliar su defensa de tales territorios para incluir la protección del medio ambiente.

En América Latina empiezan a surgir algunas de las tan necesarias investigaciones ecológicas sobre invasiones de especies. Tales estudios se han concentrado en: a] detectar las fuerzas que están detrás de la dispersión de especies foráneas como se hizo en Chile central, donde se descubrió que los caminos son importantes (Arroyo y cols., 2000), y el caso del pino carrasco (*Pinus halapensis*) en una reserva natural argentina de las pampas, donde los incendios facilitaron la diseminación de esta especie introducida (Zalba y cols., 2008); b] las repercusiones de las especies invasoras en los procesos ecológicos y la estructura de los ecosistemas (Aizen y cols., 2008; Muñoz y Cavieres, 2008); y c] el impacto del calentamiento global y la Oscilación Meridional de El Niño (ENSO) sobre las especies invasoras, en comparación con las especies nativas, mediante métodos experimentales (Cavieres y cols., 2007; Gutiérrez y cols., 2007). Estos últimos tipos de estudios son fundamentales para entender las consecuencias de largo plazo de las invasiones biológicas, así como sus interacciones con los cambios climáticos y del uso del suelo; pero quizá lo que más falta haga es contar con una serie de hipótesis específicas para ALC, objetivos claramente definidos, y reconocer que, para poder investigar las especies invasoras de rápido avance, será necesario que los científicos de los países de la región colaboren y compartan sus datos.

Por último, debemos recordar que muchas de las especies agresivas que han invadido otras regiones del mundo son originarias de ALC, lo que apunta a la necesidad de investigar también la ecología invasora de las especies nativas. Son ejemplos: la hormiga argentina (*Linepithema humile*), un arbusto conocido como mikania guaco (*Mikania micrantha*), un molusco de agua dulce (*Pomacea canaliculata*) y el jacinto o lirio acuático común (*Eichhornia crassipes*).

2.3.6. Cambio climático

Los registros de instrumentos meteorológicos indican que la región de ALC se estuvo calentando durante todo el siglo XX. Al igual que el resto del mundo, la temperatura

promedio empezó a elevarse gradualmente desde la década de 1900, con excepción de un periodo un poco más fresco en las décadas de 1960 y 1970. En la década de 1980, la temperatura volvió a elevarse y ha sostenido esa tendencia hasta la fecha, pues los últimos diez años han sido los más calurosos (UNEP/GRID, 2005a). Según el informe 2007 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el aumento de temperatura en ALC fue inferior a un grado Celsius durante el siglo pasado. Además, existen diferencias regionales y el calentamiento ha sido mayor en las latitudes extremas. La elevación del nivel del mar, un importante indicador del cambio climático, en combinación con los huracanes y los desprendimientos de tierras, es uno de los mayores riesgos climáticos de las regiones tropicales de América Latina. Al parecer, las temporadas de huracanes de 1998 y 2004 en el Atlántico superaron los registros previos de intensidad, fuerza destructiva y mortalidad de los ciclones. Sin embargo, la complejidad natural de la formación de huracanes genera mucha incertidumbre en cuanto a la dinámica futura de estos devastadores fenómenos naturales (UNEP/GRID 2005b). Al oriente de Los Andes, la precipitación media anual de Sudamérica austral aumentó 35% durante el último medio siglo. En Centroamérica, es de esperar que los cambios en la circulación hídrica general se traduzcan en menor disponibilidad de agua. Las proyecciones indican, asimismo, que se duplicará el dióxido de carbono, pero los modelos son demasiado generales como para hacer predicciones en el ámbito local. Debemos reconocer que aún existen muchas incertidumbres en torno a los modelos climáticos actuales, pero esperamos que éstas disminuyan a medida que se disponga de nuevos modelos regionales.

En este sentido, lo relevante es que cuando se tala un monte para convertirlo en campos agrícolas o pastizales, se quema una gran proporción de la biomasa vegetal aérea, lo que libera rápidamente su carbono en la atmósfera. Los cambios mundiales en el uso del suelo (quema de bosques, tala selectiva, desmonte de pastizales) ocasionaron, entre 1850 y 1990, una emisión neta de CO₂ que se estima en 121 GTon de carbono (Houghton y cols., 2001). El desmonte forestal con fines agrícolas, que es una de las principales categorías de cambio de uso del suelo, significó la fracción más grande de las emisiones de CO₂ resultantes del cambio de uso del suelo

neto; las emisiones resultantes de la conversión en pastizales, el aprovechamiento extractivo y la agricultura trashumante fueron menores. Durante la la década de 1980, la mayor parte de emisiones de carbono provinieron de las regiones tropicales. En virtud de su tamaño, la deforestación más extensa ha sido la de Brasil, pero como ya se explicó, las tasas de deforestación proporcional son más altas en México y Argentina. Los datos existentes sobre las emisiones de CO₂ de la Amazonia brasileña dan estimaciones que oscilan entre 1.7 ± 0.8 y 2.4 GTon de carbono al año (Watson y cols., 2000). Según las proyecciones de Shukla y cols. (1990), si los bosques tropicales de ALC fueran reemplazados por pastizales degradados, la cuenca del Amazonas registraría aumentos considerables en su temperatura superficial y disminuciones graves en las tasas de evapotranspiración y precipitación pluvial. Además, el aumento en la duración de las temporadas de estiaje dificultaría las reforestaciones. Según el informe del IPCC, una proporción considerable de la precipitación pluvial de la cuenca del Amazonas se debe a la evapotranspiración, misma que se irá reduciendo con la deforestación continua y en gran escala.

Más que nada, se espera que el cambio climático afecte la biodiversidad de ALC de dos maneras: 1] en forma directa, mediante cambios de temperatura y precipitación, lo que afectará la viabilidad del hábitat de numerosas especies; y 2] en forma indirecta, mediante el aumento de la frecuencia de perturbaciones como incendios, huracanes y chubascos catastróficos, mediante la generación de oportunidades para que ciertas especies foráneas, antes inocuas, incrementen su capacidad reproductiva y el tamaño de sus poblaciones hasta eliminar por competencia a las especies nativas; y mediante la aceleración de los procesos fenológicos. En Europa, Le noir y cols. (2008) descubrieron un corrimiento ascendente en el hábitat óptimo de las plantas, a razón de 29 m por década, al comparar datos sobre la vegetación recopilados en distintos periodos. Es de esperar que las especies de árboles de América del Norte, en un escenario favorable de dispersión total, se desplacen 700 km hacia el norte en los próximos 100 años, con una reducción de 12% en su área de distribución (McKenney y cols., 2007). Thomas y cols. (2004) llegaron a la conclusión de que entre 15 y 37% de las especies podrían extinguirse debido al calentamiento

global (en un escenario climático de tipo intermedio). Con base en estos tipos de patrones, se espera que las especies de ALC migren hacia el sur en Sudamérica, hacia el norte en Centroamérica, y hacia mayores altitudes en toda la región, sin importar la selección ambiental debida a cambios en la precipitación pluvial.

Con respecto a la migración, es posible hacer varias predicciones para ALC. La migración de especies hacia los polos será más fácil en el extremo septentrional de la región que en la parte meridional de ésta, pues la extensión terrestre se amplía a medida que aumenta la latitud norte tropical, mientras que en Sudamérica debe ocurrir lo opuesto al sur del ecuador. No obstante, América Central pudiera ser un importante cuello de botella para la migración de especies forestales tropicales en las latitudes septentrionales cercanas al ecuador. Por el contrario, la existencia de grandes cordilleras en ALC favorece la migración hacia tierras altas. Se espera que las especies originarias de elevaciones intermedias sobrevivan al desplazarse a sus temperaturas de distribución ideales. Por consiguiente, la vertiente oriental de Los Andes (una de las áreas de biodiversidad terrestre más ricas de ALC) y la región central de Chile (un área crítica de biodiversidad) estarían en condiciones bastante favorables; sin embargo, es de esperar que el extenso desarrollo agrícola y silvícola de la región central de Chile entorpezca la migración a lo largo de los gradientes altitudinales, mientras que las ventajas migratorias de desplazarse hacia Los Andes tropicales septentrionales pudieran ser contrarrestadas por la disminución de la humedad debido a la contracción de los glaciares (Buytaert y cols., 2006; Ruiz y cols., 2008). Sobra decirlo, es probable que, con el tiempo, muchas de las especies presentes en los límites superiores de Los Andes y otras cordilleras pierdan por completo sus hábitats. El seguimiento detallado y la simulación con modelos de las especies de grandes elevaciones en los pronunciados gradientes altitudinales de Los Andes, donde, además, los cambios de uso del suelo suelen tener menores efectos en las tierras bajas, constituye quizá el mejor enfoque en ALC para estudiar el impacto del cambio climático sobre la distribución de las especies.

Hasta ahora, varios estudios han evaluado las consecuencias del cambio climático sobre la biodiversidad de ALC mediante métodos de simulación. En el nivel de los

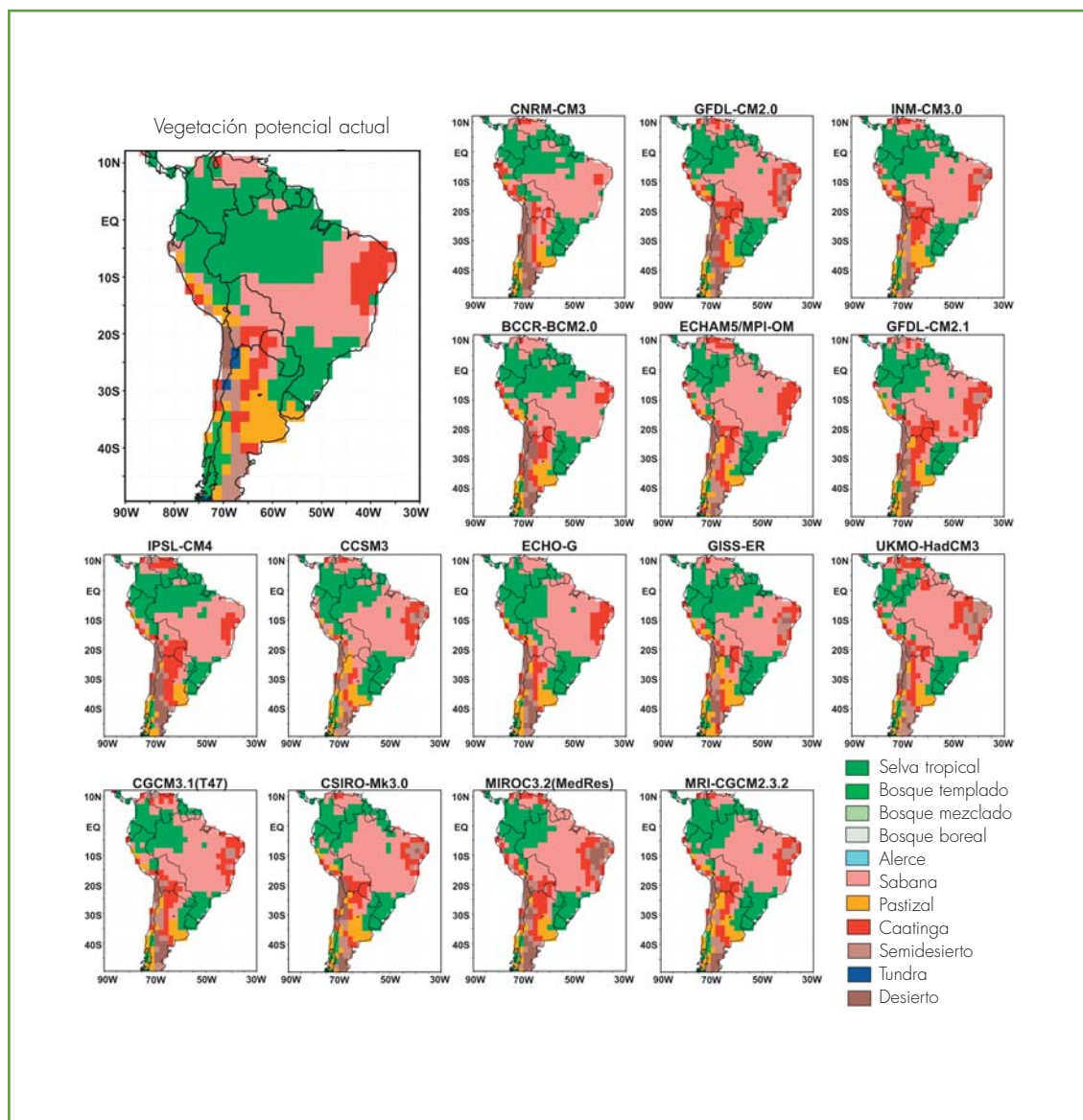


Figura 20. Distribución proyectada de los biomas naturales de Sudamérica en el periodo 2090-2099, correspondiente al escenario de emisiones A2. La cifra superior izquierda representa los biomas actuales potenciales. Tomado de Salazar y cols. (2007).

ecosistemas, los resultados de la simulación recientemente publicados por Salazar y cols. (2007) fueron motivo de gran alarma (Figura 20). Mediante el uso de varios modelos climáticos, estos expertos demostraron que los bosques húmedos del Amazonas serán reemplazados en buena parte por sabanas de aquí al fin de siglo. En el nivel de las especies, Gómez Mendoza y Arriaga (2007) observaron las respuestas de los pinos y encinos mexicanos ante diferentes escenarios de cambio climático mediante el modelo regionalizado HadCM2. Se vaticina que el área de distribución geográfica actual de los pinos y encinos disminuirá entre 0.2 a 64% y entre 7 a 48%, respectivamente. Hubbell y cols. (2008) hicieron un cálculo probabilístico de la extinción de especies arbóreas, mediante una teoría neutral basada en los escenarios amazónicos más optimistas y pesimistas que se han publicado para 11 210 especies de árboles. De ese total, se espera que 3 248 especies que cuentan con más de un millón de individuos persistan en ambos tipos de escenarios. En el extremo más estrecho del espectro de abundancia, se espera que 5,308 especies con más de 10 000 individuos sufran una tasa de extinción cercana a 50% en los escenarios de deforestación pesimistas, y cercana a 37% en los escenarios optimistas. Se predice que entre 20 y 33% de las especies arbóreas de la Amazonia brasileña se extinguirán en los escenarios optimistas y pesimistas, respectivamente. Si tales predicciones resultan ciertas, los efectos del cambio climático en la Cuenca del Amazonas serán enormes.

Mediante un método de modelación de nichos basado en los modelos climáticos Hadley HHGSDX% y HHGGAX50, Ferreira de Siqueira y Peterson (2003) estudiaron las áreas de distribución proyectadas de 162 árboles del Cerrado Brasileño. Se vaticina que la mayoría de las especies perderán más de 50% de su área de distribución potencial. Mediante el empleo de 38 especies de árboles de la Mata Atlántica de Brasil y usando la misma metodología que Ferreira de Siqueira y Peterson (2003), Colombo (2007) demostró que las especies arbóreas se pueden dividir en dos grupos mayores: un grupo, formado por seis especies, que se verá afectado marginalmente por un aumento de hasta 2 °C en las temperaturas medias anuales, es decir, que el cambio en su distribución potencial será cercano a los márgenes de error utilizados ($\pm 10\%$); y un segundo grupo formado por 32 especies, entre las cuales

figura el palmito (*Euterpe edulis*), que sufrirá reducciones considerables en sus áreas de distribución y, de hecho, dos de ellas perderán más de 50% de su área geográfica actual. En un escenario pesimista, 50% de las 38 especies estudiadas sufrirán reducciones del hábitat superiores a 50%. La reducción media estimada en el hábitat de los árboles de la Mata Atlántica es inferior a la que Ferreira de Siqueira y Peterson (2003) calcularon para las especies de Cerrado Brasileño, y casi todas las especies exhibieron desplazamientos hacia la parte meridional de la Mata Atlántica, de modo que las predicciones antedichas se cumplieron. Según los modelos del IPCC, las regiones ubicadas más al sur no estarán sujetas a heladas y tendrán temperaturas favorables para el grupo de especies arbóreas estudiadas. Al estudiar las áreas de distribución de tres mosquitos flebótomos del género *Lutzomyia*, que son vectores de la leishmaniasis cutánea en Sudamérica, Peterson y Shaw (2003) demostraron, asimismo, un desplazamiento de dichas especies hacia el sur de Brasil. Un estudio de modelación de nichos sobre los árboles nativos de Chile demostró que algunas especies aumentarán sus áreas de distribución, mientras que otras sufrirán enormes contracciones (F. Labra, datos inéditos). En este caso, también se está intentando modelar el efecto del cambio climático en la industria vitivinícola.

En algunos de los primeros modelos de distribución realizados en ALC, se hicieron suposiciones que quizás no sean sustentables al compararlas con situaciones de la vida real. En el estado de São Paulo, al sureste de Brasil, el desarrollo de plantaciones de café fue la principal fuerza que impulsó la fragmentación de los bosques nativos, principalmente las selvas subcaducifolias, entre 1800 y 1950. La mayor parte del Cerrado de São Paulo fue destruida entre 1970 y 2000 a fin de abrirle paso a las plantaciones de caña de azúcar para producir etanol como combustible automotriz, de eucaliptos para la producción de celulosa, y de naranjos. El área, que cubría originalmente 14% del Estado, quedó reducida a 8,500 fragmentos, y menos de 20 de éstos tienen más de 1 000 ha (Kronka y cols., 1998, 2005). En este ecosistema terrestre severamente fragmentado y sujeto al cambio climático, es indudable que la conservación de la biodiversidad dependerá del mantenimiento o la restauración de los corredores biológicos. Dichos corredores pueden crearse al nivel de ecosiste-

ma, volviendo a conectar los relictos del hábitat original, al nivel de ecorregión, como el Corredor Biológico Centroamericano (CBC), un sistema transfronterizo de áreas naturales protegidas y corredores biológicos que se extiende desde el sur de México hasta Panamá (UICN y WCPA, 2008) o el Corredor Central de la Mata Atlántica en Brasil. En el Estado de São Paulo, donde la vegetación original fue tan gravemente fragmentada, el Programa BIOTA/FAPESP (www.biota.org.br) acaba de publicar un mapa y un libro en los cuales se establecen las prioridades de conservación y restauración de corredores biológicos (Rodrigues y cols., 2008).

A diferencia de la modelación, en ALC se están efectuando muy pocas investigaciones experimentales sobre el calentamiento global. Como ejemplos del tipo de investigaciones que se están efectuando, los experimentos de calentamiento artificial sobre las especies de plantas en cojín de la zona alpina de Chile central condujeron a un aumento de las especies de escarabajos invasores presentes en dichas plantas (Cavieres y cols., 2007). Arroyo y cols. (1993) predijeron que, dada su mayor movilidad, los polinizadores responderán más rápido que las plantas ante el calentamiento global, lo que posiblemente generará algunas incompatibilidades entre planta y polinizador. Este aspecto del cambio climático debiera ser cuidadosamente estudiado.

Durante las tres últimas décadas, poco más o menos, se han efectuado muchos estudios fenológicos (p. ej., fenofases de floración y fructificación, sincronía de los ataques por parasitoides) en muy diversos ecosistemas de ALC (p. ej., Arroyo y cols., 1981; Batalhar y Mantovani, 2000; Pavón y cols., 2001; Marco y Paéz, 2002; Ramírez, 2002; Schöngart y cols., 2002; Folgarait y cols., 2003; y Aizen y Vázquez, 2006). Sin embargo, hasta donde sabemos, pocos estudios fueron diseñados para darles seguimiento. Sea como sea, los cambios fenológicos se cuentan entre las primeras consecuencias del calentamiento climático. El apresuramiento fenológico puede bastar para que muchas especies longevas se adapten al cambio climático. Por lo tanto, sería conveniente volver a visitar cualquier sitio fenológico permanente. Asimismo, la recopilación de todos los datos fenológicos originales pudiera revelar algunos patrones interesantes sobre la distribución inversa de la masa terrestre en Norte y Sudamérica, la cual afectaría la continentalidad y la distribución anual de las temperaturas.

En lo que respecta a los ambientes marinos, se espera que el cambio climático afecte de muy diversas maneras a las especies y comunidades marinas de ALC. El aumento de las temperaturas de los mares (que a veces se relaciona con eventos extremos de El Niño, pero no siempre) han ocasionado la pérdida de las zooxantelas simbióticas de los corales y la muerte de éstos (Hoegh-Guldberg, 1999). El kril, un miembro pelágico del suborden de crustáceos Euphausiacea, es de enorme importancia en las cadenas tróficas de los océanos. Entre enero y abril, los enjambres de kril (*Euphausia superba*) que aparecen en el Océano Antártico se desplazan hacia el norte debido a las corrientes marinas predominantes, penetrando en el área de los océanos Atlántico y Pacífico que bordea América del Sur. Estos crustáceos influyen profundamente en los recursos pesqueros ubicados a lo largo de las costas orientales y occidentales del subcontinente, y cuya importancia económica es enorme. El calentamiento global pudiera contraer las áreas de distribución de tales especies marinas polares y mermar su abundancia. El verano de 2005 fue testigo de un evento masivo de blanqueo de corales en El Caribe debido a la elevación de las temperaturas del agua, lo que afectó a prácticamente todas las especies de coral, según un detallado estudio que se efectuó en las Islas Barbados (Oxenford y cols., 2008), aunque los arrecifes cercanos a las costas se vieron más afectados que los de altamar. Para el mes de febrero de 2006, la muerte parcial de las colonias de todas las especies ascendía a 3.8%, y muchas colonias coralinas seguían blanqueadas 5.5 meses después (Oxenford y cols., 2008).

Uno de los cambios climáticos globales más graves en los ecosistemas marinos se refiere a las consecuencias biológicas de la acidificación de los océanos, pues ésta podría afectar a las comunidades de corales y a un sinnúmero de otros organismos marinos que dependen de la calcificación (moluscos, diatomeas y otros organismos planctónicos; Orr y cols., 2005). No menos importante es la relación entre los cambios climáticos y el aumento de las enfermedades en los mares (Harvell y cols., 2002). En el mar, los arrecifes coralinos son particularmente vulnerables a los efectos del cambio climático debido a su carácter sésil. Por último, las radiaciones ultravioleta en el extremo austral de Sudamérica son considerablemente más intensas que en el resto del planeta, lo que pudiera tener consecuencias de gran magnitud en el funciona-

miento ecológico y la biodiversidad de los ecosistemas terrestres y marinos, debido al aumento de las mutaciones (entre otros factores relacionados). Hasta la fecha, muy pocas de esas consecuencias del cambio climático han sido estudiadas sistemáticamente en los ambientes marinos de ALC.

Las complejas interacciones de la sobreexplotación pesquera y el cambio climático están provocando alteraciones inesperadas en los ecosistemas marinos; por ejemplo, la proliferación explosiva de las medusas en el Mar Mediterráneo, debido al aumento súbito de las temperaturas superficiales, pudiera estar relacionado con la sobreexplotación de sus principales depredadores en dicho ecosistema. Eso no sólo ocasiona cambios en el funcionamiento de los ecosistemas, sino que también afecta actividades económicas como el turismo en las zonas costeras. Al parecer, ignoramos prácticamente todo lo relacionado con esos tipos de cambios potenciales en los ambientes marinos de ALC.

2.3.7. Interacciones de las fuerzas de cambio

Nuestros conocimientos presentan carencias importantes en el tema referente a las consecuencias de las interacciones de fuerzas de cambio de la biodiversidad. Este campo es muy complejo, dada la rapidez con que ocurren los cambios en los ecosistemas de ALC y la frecuente falta de apego a las leyes, en lo que respecta al aprovechamiento extractivo de recursos (p. ej., pesca, caza, tala, etc.), en los lugares aislados. Si el objetivo es aminorar los efectos, no será fácil decidir cuáles deben ser las prioridades de investigación. Lo que sí parece claro, es que la participación de las partes interesadas locales y la extensión son herramientas indispensables.

Uno de los sinergismos típicos que cabe esperar es la intensificación de la defaunación (desaparición de la fauna a causa del ser humano; Dirzo y Miranda, 1991) por sobreexplotación o caza en los bosques gravemente fragmentados del Neotrópico, ya que esto último facilita el acceso de cazadores a lugares previamente inaccesibles del interior de los bosques tropicales (Peres, 2001; Dirzo, 1994, 2001).

Un llamativo caso de sinergismos complejos en gran escala ocurrido en ALC, se refiere a los efectos de la expansión del pastoreo y el cultivo de soya en Brasil (Sampaio

y cols., 2007). Además de la deforestación, que generalmente causa pérdidas de biodiversidad, y quizá la introducción de especies invasoras, también cabe esperar aumentos en las temperaturas cercanas a la superficie y una reducción acelerada de las tasas de evapotranspiración y precipitación pluvial, lo que tendrá consecuencias todavía mayores para la diversidad biológica (Figura 21). Y en otro caso de gran escala, Zak y cols. (2008) informan que cerca de 80% de los ecosistemas intactos de la región del Chaco, en Sudamérica central, ha sido reemplazado por campos de cultivo, pastizales y vegetación arbustiva secundaria. La principal causa inmediata de deforestación ha sido la expansión agrícola, sobre todo la destinada al cultivo de soya. Al parecer, este ha sido el resultado de una convergencia sinérgica de factores climáticos, tecnológicos y socioeconómicos, hecho que apoya la hipótesis de una explicación multifactorial a las pérdidas de vegetación leñosa xerófila.

Otro ejemplo tomado de ALC, pero esta vez en una escala más local, es el de la migración súbita o muerte del carismático cisne de cuello negro (*Cygnus melancoryphus*), un atractivo turístico de los humedales de Río Cruces, adyacentes a la ciudad de Valdivia, Chile, en la primavera de 2004. La desaparición de *Egeria densa* fue atribuida a un aumento en las concentraciones de hierro del agua, lo que tuvo por causa, a su vez, los coagulantes a base de aluminio que se utilizaron para el tratamiento químico de las aguas residuales de una nueva planta papelera aledaña (Lopetegui y cols., 2007). Dicha causa fue puesta en duda por algunos científicos, lo que pone de manifiesto la conveniencia de disponer de sistemas de seguimiento de largo plazo en esos humedales. En cualquier caso, las actividades de la planta papelera fueron suspendidas a petición de la comunidad local y las organizaciones ambientalistas.

En la Antártida, se preve un caso preocupante de sinergismo. La inmensa mayoría de la biodiversidad polar descrita hasta la fecha se encuentra en la plataforma continental del Océano Austral, pero el cambio climático actual y proyectado está modificando rápidamente las tasas de perturbación en algunas regiones. Hoy, la península Antártica figura entre las regiones con las tasas de calentamiento y cambio más altas del mundo (Smale y Barnes, 2008). Se espera que la magnitud del desprendimiento de témpanos aumente en la región durante las próximas décadas,

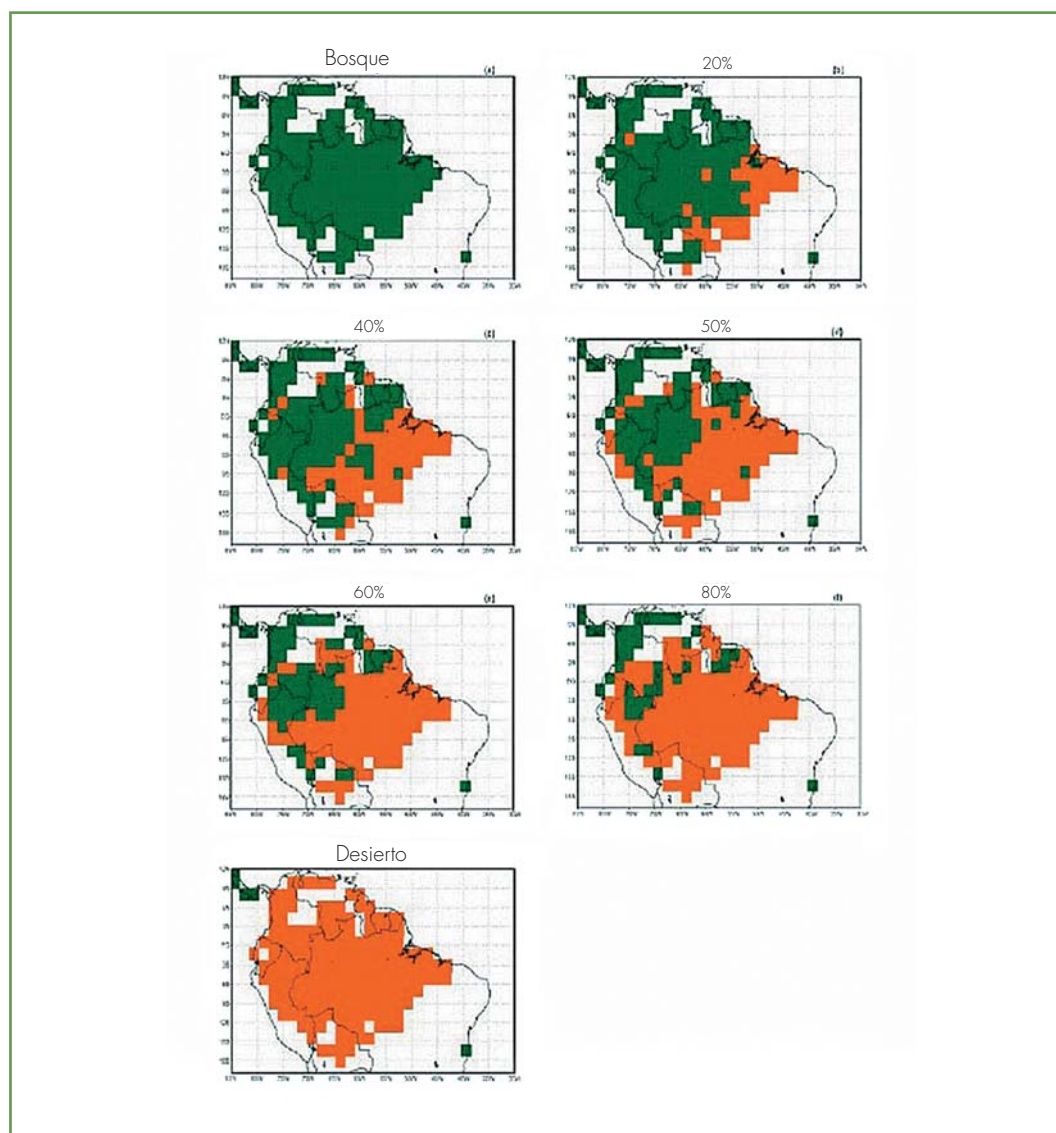


Figura 21. Escenarios de deforestación de la cuenca del Amazonas, trazados sobre una cuadrícula de ca. dos grados de latitud/longitud. Testigo, y diferentes escenarios de deforestación. Verde: bosques tropicales; anaranjado: pastizales o campos de soja (Sampaio y cols. 2007).

debido al acortamiento de los periodos de formación de hielos marinos invernales y al aumento de la presencia de témpanos en las aguas costeras. A medida que las banquisas antárticas se contraigan más allá de sus respectivas líneas de contacto con tierra, los eventos de sedimentación y renovación irán cobrando mayor importancia relativa, lo que seguramente provocará cambios en la estructura del ecosistema y, probablemente, una pérdida considerable de biodiversidad marina polar en un tiempo relativamente corto (Smale y Barnes, 2008), para no hablar del surgimiento de hábitats apropiados para las especies marinas invasoras.

También es de esperar que haya efectos indirectos menos evidentes cuando el cambio de uso del suelo agrave la fragmentación del hábitat, lo que podría conducir, por ejemplo, a una menor abundancia de polinizadores, lo que a su vez disminuiría el éxito reproductivo de las plantas y reduciría su diversidad genética (Aguirre y Dirzo, 2008). En este ejemplo, las pérdidas reproductivas y de diversidad genética se deberían indirectamente a la fragmentación, pero directamente a la merma en la abundancia de los polinizadores. Un ejemplo de interacción negativa es el de la fragmentación, cuyo resultado inmediato es la formación de pequeños fragmentos forestales expuestos al impacto de los efectos de borde, lo que aumenta la mortalidad arbórea en los márgenes de cada fragmento; eso, a su vez, disminuye el tamaño del fragmento y aumenta la mortalidad de los árboles, de modo que se establece un círculo vicioso cuya consecuencia final es el colapso del fragmento (Laurance, 1998).

2.4. CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LA BIODIVERSIDAD

2.4.1. Estado de conservación

Aunque sería imposible deslindar las contribuciones relativas de la pérdida de hábitat, el cambio climático y las especies invasoras en toda la región, se tienen pruebas concretas de que existen problemas graves de conservación. Ya hemos mencionado algunas especies sobreexplotadas. Actualmente, los libros de Datos Rojos de la UICN

(UICN, 2006) incluyen en total 3 943 especies de animales y 4,449 especies de plantas originarias de los países de ALC, en las categorías de conservación: "Extinta", "Extinta en la naturaleza", "Gravemente amenazada", "Amenazada", y "Vulnerable". Dichas especies representan, respectivamente, más de 20% y alrededor de 40% de los totales mundiales. Puesto que sería imposible estimar el grado de traslape de especies que existe entre países, las cifras exactas serán, necesariamente, menores. Sin embargo, es poco probable que los valores porcentuales cambien en gran medida, pues este mismo factor de confusión está presente en todas las regiones. La representatividad de estos datos varía considerablemente de un grupo taxonómico a otro.

Puesto que nuestros conocimientos acerca de las aves y los grandes mamíferos son los más completos, la evaluación del estado de conservación de estos grupos es comparativamente más confiable. En contraste, es justo afirmar que, por el momento, ninguna flora completa de ALC ha sido analizada por completo en lo referente a su estado de conservación (con excepción de Ecuador, donde se han hecho estudios excepcionalmente completos), de modo que en los datos sobre las plantas de la mayoría de los países, se subestima gravemente el número de especies con problemas de conservación. Además, en general, las investigaciones sobre las plantas se han concentrado principalmente en las especies leñosas en detrimento de la flora herbácea; por su parte, las investigaciones sobre los animales se han concentrado en los vertebrados. En el caso de las plantas, el sesgo asociado con las forma de vida ha ocasionado que ciertos biomas ricos en especies, como desiertos, zonas alpinas y comunidades de vegetación tipo mediterráneo, y ecosistemas sujetos a pastoreo como sabanas y pastizales esteparios, estén gravemente subrepresentados en las listas rojas mundiales de especies amenazadas. En la otra cara de la moneda está el hecho de que las especies evaluadas suelen ser señaladas como prioritarias, debido a un supuesto problema de conservación y, por ende, no necesariamente representan una muestra aleatoria del estado de conservación de la biodiversidad de cada región. Para contrarrestar este sesgo, algunos países de ALC han realizado evaluaciones subregionales del estado de conservación (cf. Squeo y cols., 2008) de las floras y faunas completas, así como estudios más enfocados en taxones específicos. Esos es-

tudios detallados están revelando muchas especies localmente amenazadas y encendiendo una oportuna luz roja de alarma para iniciar su conservación global. No obstante, nuestros conocimientos sobre las posibilidades de extinción son muy limitados en toda la región, y será necesario desarrollar metodologías más rápidas para su detección (cf. Rodríguez y cols., 2007). Lamentablemente, aunque varios países han efectuado esa clase de evaluaciones en el ámbito subregional de modo independiente, la comunicación de sus resultados a través de las fronteras ha sido muy deficiente.

Además de las especies extintas, las cifras relativamente bajas de especies amenazadas en todas las categorías de riesgo, lo que al parecer se debe más a la ignorancia que a un problema significativo, nos ofrecen un cuadro general de la variación que existe entre los países de ALC. El número de especies amenazadas varía considerablemente, pero los patrones de variación no son muy claros. Por el contrario, la cifra más alta (2 174 especies), que corresponde a Ecuador, pudiera deberse, al menos en parte, a la mejor calidad de los datos con que dicho país cuenta al respecto. Por otro lado, las cifras dependen de la diversidad de especies de cada país. Con estas advertencias en mente, vale la pena destacar que, después de Ecuador, los países con mayores concentraciones de especies amenazadas son México, Brasil, Colombia y Perú, cuatro países megadiversos. Estos datos subrayan la necesidad de adoptar medidas eficaces de protección de la biodiversidad en esos países, así como en las naciones isleñas de El Caribe. Las cifras más bajas de especies amenazadas se encuentran en países muy diversos, entre ellos algunos tropicales (las Guayanas), semitropicales (Paraguay) y extratropicales (Uruguay, Chile); sin embargo, una vez más, será necesario preguntarnos hasta qué grado esos datos representan la realidad.

Desde el punto de vista taxonómico (Figura 22), el mayor número de especies amenazadas le corresponde a los anfibios (32% del total), seguidos por los peces (24%); la cifra más baja se registra en los reptiles (10%), con los mamíferos y las aves en situaciones intermedias. Esas proporciones relativas cambian si se tienen en consideración las principales subregiones de ALC; por lo tanto, el peligro de extinción de peces es particularmente notorio en las islas de El Caribe, con 45% del total, lo que posiblemente se deba a la preponderancia de los ecosistemas marinos en esa

subregión. En Centroamérica (Figura 22), el patrón se asemeja al de la región en general, de modo que los anfibios y los peces tienen las cifras más altas (32 y 30%, respectivamente); por su parte, en Sudamérica (Figura 22), que es una subregión particularmente rica en aves, este grupo representa 30% del total, y únicamente lo superan los anfibios, con 33% de las 1 943 especies amenazadas de la subregión. Por último,

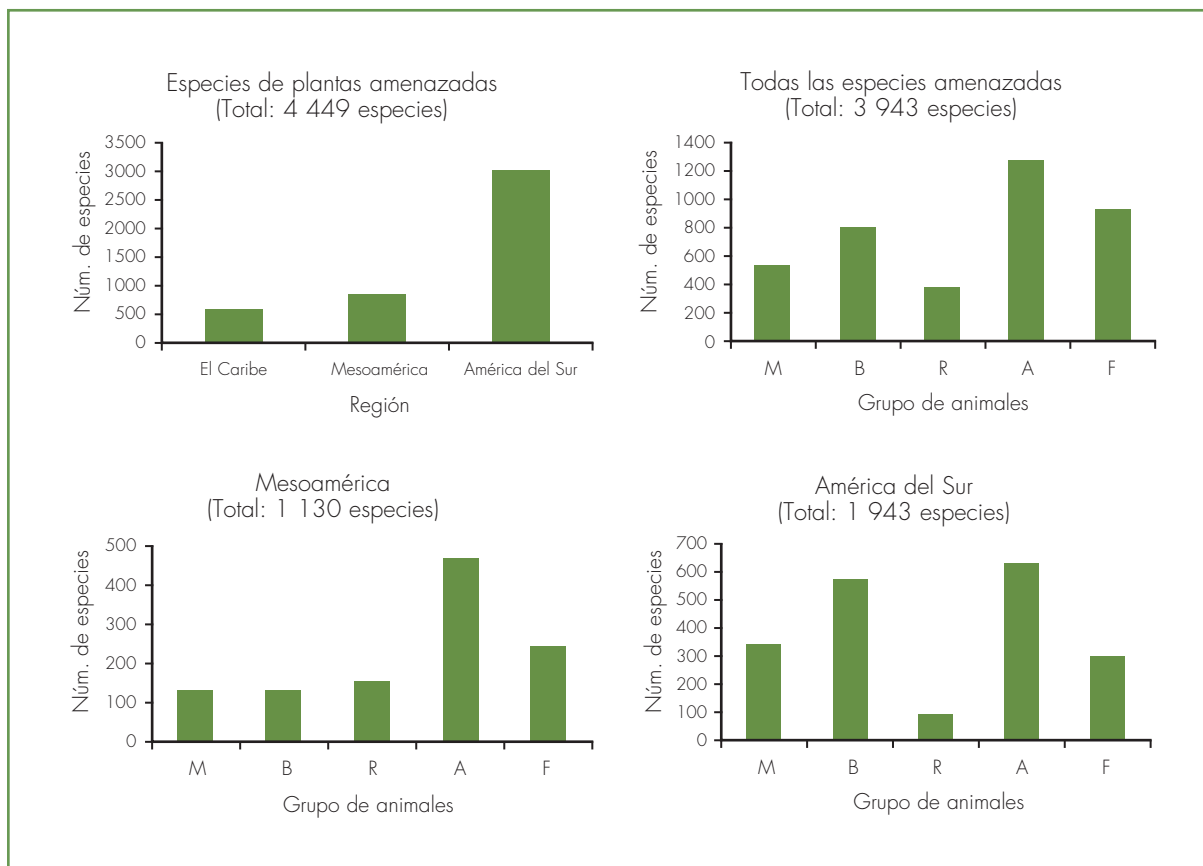


Figura 22. Histogramas de especies amenazadas en diversas regiones de América Latina y el Caribe correspondientes a varios tipos de organismos.

Datos originales tomados del libro de Datos Rojos 2007 de la UICN.

M = mamíferos; B = Aves; R = Reptiles; A = Anfibios; F = Peces.

en el caso de las plantas, Sudamérica posee la inmensa mayoría de las especies amenazadas, en virtud de su excepcional diversidad florística, pues según la UICN, se considera que 67% de sus especies están en riesgo.

Finalmente, la mayoría de los datos y análisis que están a nuestra disposición se han concentrado en especies extintas o amenazadas, en detrimento de la extinción de poblaciones. Pero aunque no se disponga de datos relevantes, y dada la magnitud de la diversidad genética y la diferenciación de poblaciones antes aludida, nadie pondría en duda que la región de ALC está atestiguando una oleada general de extinción biológica, a nivel de poblaciones, en casi todos sus ecosistemas. Una vez más, éste es otro aspecto crucial de la conservación de la biodiversidad en ALC que debe ser investigado más a fondo.

2.4.2. Medidas de conservación y aprovechamiento sustentable

Áreas naturales protegidas y sujetas a manejo

La conservación en ALC depende principalmente de las áreas naturales protegidas (ANP) gubernamentales; es decir, tierras que se reservan bajo categorías como parques nacionales y reservas naturales, pero se hace poco esfuerzo por introducir medidas de conservación en la matriz sujeta a manejo. Algunos casos interesantes tienen que ver con las prácticas de las comunidades indígenas, como la silvicultura comunal participativa (Toledo y cols., 2003). Hasta la década de 1960, según las cifras mundiales del PNUMA, la extensión terrestre y el número de áreas naturales terrestres y marinas protegidas en los ámbitos nacionales, había aumentado exponencialmente hasta alcanzar cerca de 16 millones de km², distribuidos entre más de 18 millones de unidades y equivalentes a 11.6% de la superficie terrestre del planeta. ALC siguió la tendencia mundial, pues se registró un incremento de 100% en las tierras protegidas en el periodo que va desde 1990 al presente, de modo que 21.2% de su área terrestre se encuentra protegida en alrededor de 4 700 parques y reservas. Hoy por hoy, tal cantidad de ANP es la mayor de todas las regiones del mundo en vías de

desarrollo y excede en 6.84% el porcentaje total de los países que se consideran desarrollados.

Entre las ANP de ALC, destacan seis de las 20 ANP nacionales más grandes del mundo, cuatro de las cuales se encuentran en Brasil, una en Ecuador y una en Venezuela, y protegen en conjunto más de medio millón de kilómetros cuadrados. Eso incluye el Archipiélago de las Galápagos, que está clasificado como reserva marina. No obstante, se observan inmensas diferencias en compromiso de protección entre los países de la región, con menos de 2% en el caso de Uruguay y El Salvador, y de 50-60% en el caso de Ecuador y Venezuela. En El Caribe, varias islas o archipiélagos tienen menos de 1% de su área protegida, mientras que en el otro extremo están la República Dominicana, las Islas Caimán y las Islas Turcas y Caicos, con 66% de sus áreas protegidas. Además, el total incluye las reservas en régimen de aprovechamiento. Como hecho notorio, el porcentaje de ANP de los países predominantemente templados de la región (7.5%) está muy por debajo del registrado en los países tropicales (20.9%), aunque 19% de la superficie terrestre de Chile goza de protección.

Además de las ANP nacionales, ALC posee alrededor de 100 reservas del programa El Hombre y la Biosfera (MAB), 250 sitios Ramsar y 130 patrimonios naturales nacionales, algunos de los cuales se traslapan con parques nacionales y otras reservas. Las reservas MAB están estructuradas de tal modo que está permitido realizar actividades económicas en su zona de amortiguamiento, mientras que el área núcleo está sujeta a protección estricta. Además, en los últimos diez años se ha visto una tendencia cada vez mayor hacia la inversión del sector privado en la conservación de la biodiversidad en muy diferentes escalas espaciales. Algunos ejemplos notorios en el extremo grande de la escala son: las 270 000 ha de Karukinka, en Tierra del Fuego —sector chileno—, adquiridas por un banco de inversión privado (Goldman Sachs) y manejadas actualmente por WCS; y las 300 000 ha del Parque Pumalín, en el sur de Chile, adquirido por un particular (D. Tompkins).

Pese a los grandes y encomiables esfuerzos realizados en ALC en lo referente a reservar tierras con fines de protección, éstas suelen ser deplorablemente inadecuadas

en cuanto a la distribución y abundancia de los ecosistemas individuales en cada país, así como en relación con el grado de protección y de manejo de muchos parques. Por cuanto hace al manejo, muchos parques y reservas nacionales padecen insuficiencia de personal y están a cargo de cuidadores con capacitación inadecuada. En la misma vena, el manejo de muchas reservas MAB es deficiente y éstas no funcionan al máximo de su potencial. En cuanto a su distribución, muchas ANP fueron establecidas originalmente como parques nacionales principalmente por sus valores escénicos y recreativos o porque estaban en lugares remotos a los que no se dio ningún valor económico inmediato (Armesto y cols., 1998). Se mencionan tres casos de lo que es un fenómeno común. En Chile, que tiene más de 19% de su territorio protegido, 60% de la densamente forestada región meridional del país está protegida, pero menos de 5% del área crítica de biodiversidad (ACB) de la Región Central de Chile goza de protección oficial (Arroyo y Cavieres, 1997). En Brasil, la mayor parte de los esfuerzos de protección se ubican en la cuenca del Amazonas, pero existen notorios déficits en las biodiversas regiones del Cerrado y los campos rupestres. El elevado número de unidades de conservación de Brasil (382 en total, 290 de las cuales son federales) es realmente impresionante. Con el apoyo del Gobierno Brasileño, el GEF, el Banco Mundial y WWF, 50 millones de hectáreas, que incluyen áreas de las 23 ecorregiones de la Amazonia y representan el 12% de las unidades de conservación, habrán quedado protegidas en 2012 (MMA, 2002). Las vecinas regiones de El Cerrado (2 millones de km², en Brasil central) y la Caatinga (740 000 km² de bioma semiárido, en el noreste de Brasil) cuentan con menos de 6% y 2% de las unidades de conservación, respectivamente (Cavalcanti y Joly, 2002; Silva y cols., 2004). En el caso de la Mata Atlántica, que Myers y cols. (2000) clasificaron como una de sus ACB, 21% del área restante goza oficialmente de protección estricta dentro de 224 áreas naturales protegidas públicas (108 parques nacionales y estatales, 85 reservas biológicas federales y estatales, y 31 estaciones y reservas ecológicas federales y estatales) y 443 reservas privadas (alrededor de 1 000 km²). En Argentina, 4 598 km² gozan de protección dentro de sus 60 ANP de diversas categorías, lo que representa alrededor de 21% de la Mata Atlántica original en la provincia de Misiones. En la par-

te de la Mata Atlántica ubicada en el oriente de Paraguay, existen ocho ANP que suman en total 1 392 km², equivalentes a menos de 2% de la extensión original del bioma (CI, 2007). El mismo desequilibrio se observa en el Estado de São Paulo, donde menos de 7% de el Cerrado cuenta con protección. Según la Comisión Mundial de Áreas Naturales Protegidas, menos de 1% de las pampas argentinas está protegido.

En general, puede concluirse que los hábitats forestados húmedos de ALC cuentan con mejor protección que los bosques caducifolios, los matorrales xerófilos semiáridos y áridos, y los pastizales. Esta situación exige, a todas luces, un esfuerzo de conservación más equilibrado entre los ecosistemas de la región.

En los ecosistemas marinos de ALC, las medidas de conservación varían desde parques marinos bien delimitados, hasta áreas en aprovechamiento sustentable, o carentes de toda protección. Favorecidos por los mares cálidos y una exuberante y colorida vida marina, que atraen al ecoturismo, en El Caribe existen varios parques marinos (p. ej., Statia Marine Park, en Isla San Eustaquio; Tobago Cays Marine Park, en las Granadinas; Saba Marine Park, Bonaire National Marine Park, Arikok National Park, en Aruba; e East End Marine Park). East End Marine Park protegerá el sistema de barreras arrecifales más grande de El Caribe. Sin embargo, todo parece indicar que es más difícil establecer parques marinos en las frías y menos carismáticas aguas australes de ALC. En las zonas costeras de los países de ALC, se han establecido muchas áreas marinas protegidas sin captura (AMP-SC). Sin embargo, en muchos casos se trata de AMP-SC “de papel”, pues carecen de planes de manejo y vigilancia y no están vinculadas con programas científicos. La mayor parte de ALC depende, de una u otra manera, de los recursos marinos costeros. Debido a las medidas de cierre o restricción, los habitantes locales (pescadores, usuarios del mar y otras partes interesadas) suelen ver las AMP-SC, básicamente, como intromisiones gubernamentales en sus áreas costeras. Por lo mismo, tienden a oponerse a la ley. Un estudio reciente (MacClanahan, 2008) informa que existen en el mundo alrededor de 50 millones de pescadores artesanales en pequeña escala. Si hacemos un cálculo lógico, aproximadamente 10% de ellos viven en ALC. Esos pescadores capturan unos 30 millones de toneladas anuales de pescado, principalmente para consumo directo, en comparación

con los 40 millones de toneladas anuales que capturan las pesquerías industriales. La pesca en pequeña escala consume aproximadamente 20% menos de petróleo (2.5 millones de toneladas anuales) que las flotas pesqueras industriales. Además, los pescadores en pequeña escala generan cinco a seis veces menos “descarte” (alrededor de 1.5 millones de toneladas anuales) que las flotas industriales. Estas cifras indican que la pesca en pequeña escala es una actividad socioeconómica (y cultural) imprescindible para millones de habitantes de las costas (pescadores, familias, poblaciones locales) que bordean un mar sin límites de propiedad privada. Todo esto significa que la sustentabilidad de los recursos costeros a través del tiempo es fundamental para la conservación de las especies marinas. Y lo mismo cabe decir respecto al funcionamiento de los ecosistemas y la biodiversidad.

Dada la situación anterior, ALC necesita desarrollar con urgencia un sistema de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos marinos. Para eso será necesario tener en consideración las diferencias en marcos jurídicos, culturas y necesidades alimenticias y económicas. Se trata de un problema de solución compleja. Los casos de mayor éxito (Chile, México; véase Castilla y Defeo, 2005; Defeo y Castilla, 2005) sugieren que la solución ideal es la integración de redes costeras formadas por varios sistemas de conservación y manejo de la biodiversidad. Por ejemplo, las redes costeras diseñadas de abajo hacia arriba, las cuales incluyen derechos de usuarios territoriales para pesquerías (Territorial User Rights for Fisheries, TURF; destinados a pescadores artesanales o recolectores costeros en pequeña escala) en forma de Áreas de Manejo y Aprovechamiento de Recursos Bentónicos (Managed and Exploitation Areas for Benthic Resources, MEABR), como las creadas en Chile en combinación con AMP-SC, parques marinos y reservas (con fines de conservación genética, investigación, turismo o educación), aumentan la tasa de éxito de la conservación de la biodiversidad marina. Además, en Chile se demostró recientemente (Gelcich y cols., 2008) que las áreas dedicadas exclusivamente al aprovechamiento sustentable de los recursos costeros, cuando son bien manejadas, también pueden fungir como unidades de conservación de la biodiversidad marina. Los habitantes locales, las culturas marinas costeras, las tradiciones, los conocimientos ecológicos locales (CEL) y

las necesidades de los usuarios, son aspectos críticos del desarrollo de tales planes. Necesitamos repetir en toda la región los buenos ejemplos (p. ej., Cuba, Chile, México y Brasil; véase también World Bank 2006, Report 36635-GLB) de conservación biológica marina desarrollados conjuntamente con, o incrustados en áreas dedicadas al aprovechamiento sustentable de los recursos costeros (áreas sujetas a manejo), como parte de los programas de manejo y conservación de la biodiversidad marina costera.

Aunque es evidente que en ALC existen muchas ANP (si bien mal distribuidas en lo que respecta a la representatividad de cada ecosistema), se han realizado muy pocos estudios para evaluar la contribución real de dichas ANP a la conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos regionales. Esta información crucial se ve entorpecida por la falta de conocimientos adecuados acerca de la distribución de las especies y porque las guías de identificación de las ANP están incompletas o son inexistentes. El problema se exagera con la insuficiencia en ALC de científicos capacitados como taxónomos (cf. Simonetti, 1997) y biólogos de la conservación (cf. Rodríguez y cols., 2006), que sean capaces de identificar plantas y animales pertenecientes a los muchos grupos taxonómicos que hemos aludido previamente en esta evaluación. En cualquier caso, existen estudios de este tipo para unos cuantos grupos de animales (p. ej., Yahnke y cols., 1998) y las plantas de Chile central (Arroyo y cols., 2000). Debido a la enorme cantidad de especies de plantas que existen en ALC en comparación con las especies de animales (vertebrados), este tipo de investigación será mucho más complejo y lento entre las plantas. Ya se completaron los sofisticados análisis GAP y de otros tipos de los vertebrados y las plantas de México (CONABIO-TNC-PRONATURA, 2007; Ceballos, 2007), los vertebrados de Chile (Tognelli y cols., 2008) y las plantas de la región desértica de Atacama (Squeo y cols., 2008). Un aspecto esencial será informar a las autoridades gubernamentales sobre nuestras carencias acerca de información (Rodríguez y Young, 2000).

Los análisis de parsimonia del endemismo (Parsimony Analysis of Endemicity, PAE) han cobrado popularidad en ALC, donde se han efectuado en diversas escalas espaciales, según se trate de floras y faunas completas o de taxones individuales

(p. ej., Da Silva y Oren, 1996; Posadas, 1996, Posadas y cols., 1997; Cavieres y cols., 2002; Luna y cols., 1999; y Rovito y cols., 2004). Todos esos estudios diversos tienden a indicar que las ANP actuales son inadecuadas en general, y que la configuración espacial óptima de las reservas en un mundo sin restricciones sería muy diferente. Según estudios inéditos realizados sobre el bien representado género *Senecio* en la parte septentrional de la región de Chile con clima mediterráneo, donde las ANP han sido debidamente muestreadas, alrededor de 35% de las especies se encuentran fuera de las ANP, y las posibilidades de crear nuevos parques gubernamentales para proteger las especies restantes y ampliamente dispersas en el ecosistema, son nulas. La única opción viable para proteger en forma adecuada la flora de la ACB de la región central de Chile, sería la creación de una red de reservas de menor escala ubicadas en tierras de propiedad privada, e intentar salvar los relictos de vegetación original insertos en la matriz de aquellas tierras productivas, vinculándolos mediante corredores biológicos con parques y reservas mayores; y quizá ocurra lo mismo con otros tipos de vegetación, como la del Cerrado. Aquí, uno de los puntos clave es convencer a los terratenientes para que colaboren, y a los gobiernos para que den incentivos al terrateniente. El uso de recursos financieros públicos para ese fin está totalmente justificado, porque tales medidas de conservación serían en beneficio de la sociedad en pleno, ya sea en forma directa o indirecta.

En cualquier caso, tal como ha sucedido en el mar, algunas de las mejores historias de éxito en la conservación de ALC han ocurrido en tierras pertenecientes a los pobladores locales. Un caso interesante es el del Proyecto Páramo Andino, que será ejecutado en una red de sitios piloto clave, ubicados a lo largo de los páramos sudamericanos, desde Venezuela hasta Bolivia. El proceso de diseño se basa en una serie de talleres participativos impartidos por un equipo multidisciplinario, incluyendo la población local y la incorporación de los conocimientos y puntos de vista locales como base de la planeación (Lambí y cols., 2005), aprovechando a la vez los profundos conocimientos sobre el funcionamiento de los ecosistemas, recopilados a lo largo de muchos años de investigación básica por parte de los científicos de la Universidad de Los Andes, en Venezuela (p. ej., Vuilleumier y Monasterio, 1986). En

México se han desarrollado ejemplos destacados de manejo forestal productivo por los habitantes rurales, con considerables dividendos para los mismos, y bajo un plan efectivo de manejo sustentable y conservación de la biodiversidad (Bray, Merino, y Barry, 2004).

Conservación *ex situ*

La eficacia de la conservación de especies silvestres *ex situ* ha sido un tema muy debatido, dado el espacio necesario y los costos de mantener colecciones suficientemente grandes como para asegurar la integridad genética. Los jardines botánicos pueden ser una parte importante de la estrategia de conservación para muchas especies, siempre y cuando estén estratégicamente ubicados respecto de los ecosistemas de cada país, y tener el rol simultáneo de impartir educación en materia de biodiversidad. Organizados en red (véase, por ejemplo, la Red de Jardines Botánicos Argentinos: www.bgci.org/argentina_esp/botanic_garden_esp), los jardines botánicos pueden ser una poderosa herramienta de conservación, al estimular la creación de nuevos jardines.

En América del Sur, Brasil, Argentina y Colombia son los países que cuentan con más jardines botánicos. El resto de los países sudamericanos tienen menos de 10 jardines botánicos (Arroyo y cols., 2003), y muchos de ellos no merecen siquiera esa distinción. Existen varios jardines botánicos importantes en México, Centroamérica y El Caribe. Dado el número y la ubicación de los jardines botánicos existentes, es muy poco probable que todos los ecosistemas estén debidamente representados, pues algunos ni siquiera están presentes, en los jardines botánicos de ALC. No obstante, pudiera haber sorpresas si se dispusiera de la información.

En el ámbito de la investigación, la restauración ecológica es comparable con la conservación *ex situ* en que ambas requieren conocimientos sobre germinación de semillas y propiedades del suelo. Una de las prioridades de ALC debe ser la creación de un banco de germoplasma de microorganismos, pues éstos se usarían para inocular el material vegetal que se utilice en el proceso de restauración ecológica. La

conservación *in vitro*, es decir, el mantenimiento de bancos de tejidos, debe considerarse como una alternativa sólo cuando la producción de semillas de una especie sea escasa o cuando su propagación presente serios problemas. Además, es costosa y arriesgada.

En ALC, donde la biotecnología está muy ampliamente desarrollada, se considera que el cultivo de tejidos y los bancos génicos son medidas de conservación viables. Además, el cultivo de tejidos tiene la ventaja de reducir la presión humana sobre las poblaciones naturales, pues ésta suele ser la causa última de los problemas de conservación. La técnica que más se utiliza es la micropropagación. Por otra parte, ya se han creado plantas transgénicas resistentes a plagas y enfermedades. Sin lugar a dudas, Brasil y Argentina son los países líderes en estas áreas de investigación, pero la mayoría de las plantas que han sido estudiadas hasta ahora o están presentes en grandes bancos de germoplasma en diversas formas, incluyendo semillas, son especies de plantas domésticas. Éstos son los centros de germoplasma más importantes: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en Costa Rica; Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en Colombia; Banco Nacional de Germoplasma Vegetal de Chapingo, y Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en México; Centro Internacional de la Papa (CIP), en Perú; Centro Nacional de Pesquisas de Recursos Genéticos e Biotecnologia (CENARGEN), Instituto Nacional de Investigação Agrária e das Pescas (INIAP), International Bank of Coconut Genes, International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), en Brasil; Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, y Programa de Investigación de la Papa (IBTA-PROINPA), en Bolivia; Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INiAP), en Ecuador; Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en Argentina e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en Chile. Esta lista de instituciones no es exhaustiva.

Chile desarrolló, en colaboración con Royal Botanical Gardens at Kew, métodos de crioprotección para las semillas de especies desérticas, y la Asociación Latinoamericana y de El Caribe de Jardines Botánicos creó un banco de semillas. No obstante, este último tipo de conservación *ex situ* tiene limitaciones en los países tro-

picales de ALC, donde las semillas suelen ser recalcitrantes. En suma, es evidente que existen miles de especies de plantas amenazadas de ALC que no se encuentran en ningún banco de germoplasma o jardín botánico.

2.4.3. Estudios de casos de manejo sustentable y conservación en ALC

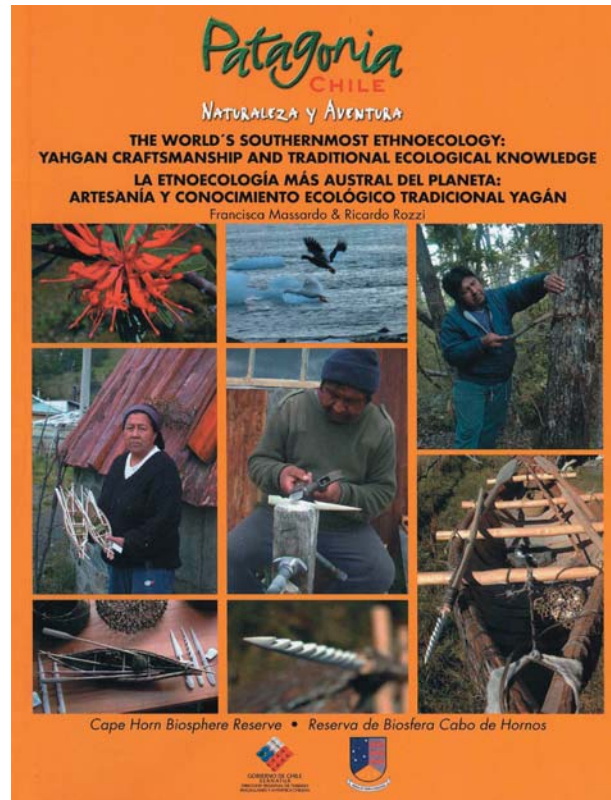


Figura 23. Portada de libro que combina investigaciones etnoecológicas y ecoturismo en la Reserva de la Biosfera Cabo de Hornos, al sur de Chile. Este libro fue el resultado de un esfuerzo de colaboración entre los integrantes de la comunidad indígena yagán y los científicos del Parque Etnobotánico Omora, y se publicó con apoyo del gobierno chileno, el Servicio Nacional de Turismo y la Universidad de Magallanes (Massardo y Rozzi, 2006). Véase el Recuadro 1.

RECUADRO I

LA RESERVA DE LA BIOSFERA DEL CABO DE HORNOS: UN PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN INTEGRADO PARA PROMOVER EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN EL EXTREMO AUSTRAL DEL MUNDO

La Reserva de la Biosfera del Cabo de Hornos (RBCH) protege una de las eco-regiones más prístinas del mundo: los bosques húmedos subantárticos magallánicos que cubren la punta meridional de las Américas. Incluye los archipiélagos situados al sur de Tierra del Fuego, así como los fiordos, banquisas y glaciares de la cordillera de Darwin, 1 000 km al norte de la península Antártica. Con 5 millones de hectáreas de ecosistemas marinos y terrestres, es la reserva de la biosfera más extensa de Sudamérica austral. La RBCH posee los siguientes atributos relevantes para el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad y el desarrollo socioeconómico local. Su creación, lograda en 2005, fue el resultado de un esfuerzo colaborativo de seis años entre el Gobierno regional y un equipo interdisciplinario de ecólogos, artistas y humanistas encabezado por el Parque Etnobotánico Omora. Posteriormente, se identificó un conjunto de 10 principios rectores: 1] cooperación interinstitucional; 2] enfoque participativo; 3] integración interdisciplinaria de ciencias, filosofía, artes y política; 4] vinculación y asociación internacional; 5] comunicación continua vía los medios de comunicación; 6] identificación y promoción de especies emblemáticas; 7] actividades ecológicas de campo guiadas, que incluyan “encuentros directos” con seres humanos y otros seres vivos en sus hábitats; 8] sustentabilidad económica y ecoturismo; 9] planeación territorial y sustentabilidad administrati-

va; 10] sustentabilidad conceptual basada en investigaciones de conservación continuas, de largo plazo, *in situ*. La iniciativa de la RBCH busca maneras de traducir la investigación ecológica en acciones de conservación. El Parque Etnobotánico Omora es una estación de investigación de largo plazo que depende del Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB). Los estudiantes trabajan como guías especializados y ayudan a capacitar a otros guías en turismo científico sustentable en la región austral. Este programa cuenta con diversas áreas turísticas temáticas en el Cabo de Hornos, gracias a la elaboración de guías impresas y cursos de capacitación para guías turísticos con el apoyo del Gobierno Chileno, como: “La etnoecología más austral del mundo: artesanía y conocimiento ecológico tradicional de los yaganes” (Figura 23), basada en visitas guiadas que interrelacionan la diversidad biológica del Cabo de Hornos con la cultura indígena yagán, vinculando esta apreciación con la industria artesanal yagán contemporánea, que sigue haciendo uso de cortezas de árboles y huesos de ballena. Otro emprendimiento es el programa “Turismo con lupa en los bosques en miniatura de Cabo de Hornos”, basado en el innovador concepto de explorar la belleza de los diversos líquenes, musgos y hepáticas de los ecosistemas forestales y de tundra más australes del mundo. Este nuevo tipo de turismo científico ha incrementado el aprecio de la diversidad biológica y cultural subantártica, al tiempo que genera ingresos sustentables para las comunidades locales de la RBCH. Asimismo, se acaba de iniciar una nueva fase que relaciona a la industria ecoturística con el desarrollo, el mantenimiento y el uso del Parque Etnobotánico Omora. Como una manera complementaria de sustentar la iniciativa, se están desarrollando cursos internacionales en asociación con la University of North Texas (UNT), el IEB y otras instituciones.

RECUADRO II

EL MANEJO RACIONAL DE LOS RECURSOS MARINOS BENTÓNICOS COSTEROS EN CHILE Y SUS EFECTOS ACUMULATIVOS SOBRE LA CONSERVACIÓN Y LA BIODIVERSIDAD

El manejo y la conservación de los recursos son dos maneras de aprovechar los ecosistemas naturales. En la primera, los gobiernos intervienen a fin de sustentar/mantener el aprovechamiento extractivo de largo plazo de un recurso (o conjunto de recursos) en particular, con miras al bienestar humano. En la segunda, la intervención de los gobiernos tiene por objeto proteger/conservar los ecosistemas naturales (poblaciones, comunidades, ecosistemas). En el caso de los ecosistemas marinos, donde no existen derechos de propiedad privada, se requieren ambos tipos de intervención en lo que respecta al aprovechamiento de recursos/ecosistemas de carácter comunitario. Esta es una diferencia importante respecto de la conservación en el medio terrestre. El manejo de los recursos costeros bentónicos (invertebrados, algas) en Chile ha evolucionado, desde un periodo de acceso irrestricto a los recursos previo a la década de 1990, hasta el actual sistema de derechos de acceso territorial exclusivo, basado en áreas de manejo y aprovechamiento extractivo de recursos bentónicos (Management and Exploitation Areas for Benthic Resources, MEABR). Las MEABR son unidades espaciales del lecho marino costero, que se les

concesionan a comunidades organizadas de pescadores artesanales por cierto número de años. Durante los últimos 15 años, esta política ha dado buenos resultados en cuanto a la estabilización del aprovechamiento de los mismos recursos que antes eran sobreexplotados. Hoy, existen más de 350 MEABR (que abarcan más de 1 000 km²) manejadas y protegidas por comunidades pesqueras. Según los estudios preliminares, la biodiversidad marina ha ido en aumento en algunas de esas unidades en comparación con las áreas adyacentes con libertad de acceso. El aumento de la biodiversidad no sólo se aprecia en las especies bentónicas sujetas a aprovechamiento, sino también en otras especies como los peces pelágicos, que parecen estar utilizando las MEABR como refugios. Este ejemplo sugiere que existen maneras de combinar los planes de manejo extractivo racional de recursos marinos, con beneficios adicionales que redundan en la conservación y sustentabilidad de la biodiversidad. En estos casos, la participación activa de los pescadores artesanales, que es de abajo hacia arriba, tiene un rol fundamental. El establecimiento de parques marinos o áreas marinas protegidas sin captura (AMP-SC) siempre será bienvenido. Sin embargo, en comparación con el sistema de manejo costero chileno, cabría decir que estas últimas son estrategias de conservación complementarias. El Banco Mundial considera que una red costera de parques y reservas de biodiversidad marina, intercaladas con MEABR bien controladas, es la estrategia de manejo/conservación ideal para las costas de los países en vías de desarrollo de ALC.

2.5. BASE DE RECURSOS PARA LAS INVESTIGACIONES SOBRE LA BIODIVERSIDAD EN ALC

2.5.1. Recursos humanos e institucionales

Puesto que las ciencias de la biodiversidad abarcan muchas áreas de investigación distintas, no es fácil hacer una evaluación cuantitativa de la capacidad de la comunidad científica de ALC, al menos de este tipo. Sin embargo, el grado de interés y vigor de las ciencias de la biodiversidad en la región está fuera de toda duda. A modo de ejemplo, veamos la membresía de algunas de las principales sociedades científicas (localizables por Internet). En el campo de la botánica, la Sociedade Botânica do Brasil (www.botanica.org.br) cuenta con 2 701 miembros; la Asociación Colombiana de Botánica (www.unicauca.edu.co/acb/index.php) tiene 290 integrantes; la Sociedad Botánica de Chile (www2.udec.cl/~botanica) tiene 105, y la Sociedad Botánica Argentina (www.botanicargentina.com.ar/pdf/circular3_06.pdf) cuenta con 510 miembros. Aunque la Sociedad Botánica de México no proporcionó datos sobre su membresía, se registraron más de 2 900 autores en los artículos presentados en el Congreso Nacional de Botánica 2007. Además, en el campo de las ciencias vegetales en general, la Asociación Latinoamericana de Botánica (ALB) es muy activa. En el campo de la ecología, la Asociación Argentina de Ecología (www.asaeargentina.com.ar/socio_buscar.php) cuenta con 955 miembros; la recién creada Sociedad Científica Mexicana de Ecología (SCME) con 200; y la Sociedad de Ecología de Chile (www.socecol.cl) cuenta con 141 miembros. Los científicos del mar tienen sus propias organizaciones, como la Asociación Latinoamericana de Investigadores de Ciencias del Mar (ALICMAR), que organizará, junto con el Comité Oceanográfico Nacional (CON) de Cuba, el VIII Congreso Latinoamericano en la materia. La biología de la conservación está representada por la Asociación Latinoamericana de Conservación y Manejo de Vida Silvestre (ALCOM), una organización recién creada y todavía pequeña, que está a punto de organizar el Primer Congre-

so Latinoamericano de Rehabilitación de Fauna Marina. Varios países de ALC tienen sociedades limnológicas (p. ej., Chile, Argentina) y zoológicas (p. ej., Cuba, México). La Sociedad Cubana de Zoología está organizando el Congreso Latinoamericano de Herpetología 2008. También existen muchas sociedades especializadas, como la Asociación Latinoamericana de Malacología, que va rumbo al VII Congreso Latinoamericano de Malacología; la Asociación Latinoamericana de Micología, de camino a su Sexto Congreso Latinoamericano; la Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA); la Sociedad Latinoamericana de Biología; y la Sociedad Latinoamericana de Fitoquímica; para citar sólo algunas. El II Congreso Latinoamericano de Áreas Protegidas, celebrado en Bariloche, Argentina, en 2007, reunió a más de 2000 personas. Toda esta actividad social, que desde luego no abarca la totalidad de lo que ocurre en la región, sugiere una amplia cobertura de investigación científica en todo el espectro taxonómico y ecológico, así como un enorme potencial para las ciencias de la biodiversidad en ALC.

Si nos enfocamos específicamente en la investigación, la mayor parte del trabajo relacionado con las ciencias de la biodiversidad se realiza en las facultades y departamentos de las universidades de ALC, pero son demasiadas como para mencionarlas aquí. Como dato importante, en América Latina han surgido, en fechas muy recientes, varios centros de excelencia dedicados específicamente a las ciencias de la biodiversidad o con un componente significativo de las mismas, lo que indica el reconocimiento político de la importancia de este campo científico. Esta es una muestra de los centros de mayor importancia en cuanto se refiere a la calidad de su productividad o la infraestructura científica, ordenados aproximadamente de norte a sur: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); Instituto de Ecología de la UNAM e Instituto de Ecología, A.C. (INECOL), en México; Instituto de Ecología y Sistemática, en Cuba; Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio), en Costa Rica; Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) e Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), en Venezuela; Smithsonian Tropical Research Institute, en Panamá; Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, en Colombia; Instituto de Ecología y Biodiversidad (IEB) y Center

RECUADRO III

LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO) DE MÉXICO

(www.conabio.gob.mx)

La CONABIO, un importante centro de conocimientos acerca de la biodiversidad y sus usos, que goza de reconocimiento mundial como modelo, fue creada por decreto presidencial en 1992. A partir de su creación, la CONABIO se ha convertido en una institución indispensable para México y los países adyacentes, sobre todo los de Centroamérica. Sus objetivos centrales son: crear y mantener un Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB); apoyar investigaciones para fortalecer y mantener el SNIB; y asesorar a todos los sectores sociales (público, privado, civil) en materia de biodiversidad, poniendo toda su información relevante al acceso del público. Desde el punto de vista operativo, la CONABIO es una organización que se dedica, en primera instancia, a realizar investigaciones aplicadas (bajo la responsabilidad de su propio personal) basadas en sus bases de datos integrales, al tiempo que promueve investigaciones básicas a cargo de la comunidad científica que cuenta con pericia en sistemática, ecología, geografía y socioeconomía aplicadas a la conservación de la biodiversidad. Para este último efecto, la CONABIO cuenta con un programa de convocatoria permanente, que recibe propuestas de investigación y otorga, por concurso, subvenciones en apoyo de las mismas. Los resultados de este programa son muy diversos, pues van desde evaluaciones del estado de conservación de ecosistemas críticos específicos, como los manglares, de especies como la mariposa monarca, y de regiones selectas, como el Corredor Biológico Mesoamericano. Además, la CONABIO se dedica a recopilar y generar la información necesaria para atender una multitud de problemas relacionados con la biodiversidad, y a formar capacidades humanas en materia de bioinformática. Actualmente, el SNIB de la CONABIO contiene información basada en especímenes

(con identidad de especie confiable y datos de recolección georreferenciados) correspondientes a cerca de 6.5 millones de muestras. Dicha información fue capturada directamente de especímenes pertenecientes a las colecciones científicas del país, o repatriada de especímenes almacenados en instituciones extranjeras. El herbario virtual de la CONABIO cuenta actualmente con 1.26 millones de registros de plantas vasculares, procedentes de más de 80 herbarios de México, Estados Unidos y otros 25 países. Se ha recopilado información de tipos similares para otros grupos de organismos. Una vez digitalizada, tal información es una poderosa herramienta que sirve para muy diversos fines, desde aproximaciones del área de distribución potencial de las especies, hasta predicciones relacionadas con el cambio climático; definición de áreas de probabilidad de ocurrencia de enfermedades o patógenos como el hantavirus (con base en la distribución precisa y inferida de los roedores que fungen como sus vectores); evaluación de los riesgos asociados con la introducción de organismos genéticamente modificados (OGM) en función de las áreas de distribución de sus parientes silvestres; modelación de las áreas de impacto potencial de plagas introducidas (como la polilla de las cactáceas, *Cactoblastis cactorum*, según la distribución de sus plantas anfitrionas (cactáceas de varias especies, pero principalmente de *Opuntia*); y desarrollo de campañas de prevención del establecimiento o la expansión de tales plagas. Además de servir para investigaciones básicas o aplicadas, esa información digitalizada se usa para investigaciones internacionales, como la colaboración de México con la Enciclopedia de la Vida, y los esfuerzos internacionales para la codificación genómica, mediante el ADN, de varios grupos de organismos. La CONABIO ha patrocinado muchas publicaciones de relevancia para México, como la historia natural de algunas de sus reservas biológicas, y publica el boletín BioDiversitas. Recientemente, la CONABIO ha auspiciado la generación y publicación sin precedente de los ecosistemas y biodiversidad de México, desde la perspectiva de los mismos como conformadores del capital natural de México (CONABIO, 2009).

RECUADRO IV
BIOTA/FAPESP: EL INSTITUTO VIRTUAL DE LA BIODIVERSIDAD EN BRASIL
(www.biota.org.br)

A partir de 1999, el Instituto Virtual da Biodiversidade (BIOTA/FAPESP) se ha dedicado al estudio de la biodiversidad del Estado de São Paulo, Brasil. La misión del instituto es inventariar y caracterizar la biodiversidad del Estado, y definir mecanismos para su conservación y aprovechamiento sustentable. Todas las universidades públicas mayores (USP, UNICAMP, UNESP, UFSCAR, y UNIFESP), algunas universidades privadas (PUC, UNAERP, y UNISANTOS), varios institutos de investigación (Instituto de Botânica de São Paulo, Instituto Florestal, Instituto Geológico, y INPE), los centros EMBRAPA y algunas organizaciones no gubernamentales (Instituto Socioambiental, Fundação SOS Mata Atlântica, Conservation International, Centro de Referência em Informação Ambiental/CRIA), son parte del programa. Si calculamos el número de investigadores vinculados con las instituciones del Estado de São Paulo que participan en el programa, la cifra asciende a unos 400 con grado mínimo de PhD, más 500 estudiantes de posgrado. Además, se cuenta con 80 colaboradores de otros estados brasileños, y aproximadamente 50 de países extranjeros. En seis años, el Programa BIOTA/FAPESP ha financiado 80 importantes proyectos de investigación, mismos que han capacitado alrededor de 150 estudiantes de maestría y 90 de doctorado, recopilado y almacenado información sobre unas 12 000 especies, y puesto a disposición los datos de 150 colecciones biológicas mayores. Tal esfuerzo se resume en 550 artículos, publicados en 170 revistas científicas, 95 de los cuales aparecen en la base de datos del Institute for Scientific Information (ISI), incluso artículos de *Nature* y *Science*. Además, el programa ha publicado hasta la fecha 16 libros y 2 atlas. En 2001, el programa lanzó una revista electrónica revisada por colegas y de libre acceso, *Biota Neotropica*, donde publica investigaciones originales sobre la biodiversidad de la región neotropical. En cinco años, la revista se ha convertido en un referente internacional en su área y ya figura en *Zoological Record*, *CAB International*, *Directory of Open Access Journals*, y *Scientific Electronic Library Online/SciELO*. Por último, pero igualmente importante, el programa lanzó en 2002 una nueva iniciativa, llamada *BIOprospecTA*, cuyo objetivo es buscar nuevos compuestos de interés económico y que ya solicitó patentes para tres nuevos fármacos. En el periodo 2006-2007, los investigadores de BIOTA/FAPESP, en colaboración con la Secretaría de Medio Ambiente (SMA) del Estado de São Paulo y Conservation International, hicieron un esfuerzo extraordinario por resumir su banco de datos en un conjunto de ocho mapas de conservación de la biodiversidad y áreas de restauración ecológica prioritarias en dicho Estado. Tales mapas acaban de ser adoptados por el Estado de São Paulo (Resolución 15/2008 de la SMA) como su marco de referencia legal para las evaluaciones de impacto ambiental. BIOTA/FAPESP constituye un raro ejemplo de cómo es posible usar una iniciativa de investigación bien planeada, para establecer políticas de protección ambiental en una región industrializada, tal como lo es el Estado de São Paulo.

for Advanced Studies in Ecology and Biodiversity (CASEB), en Chile; Instituto de Biociências (IB), Museu de Zoologia, Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), Instituto de Biologia e Museu Nacional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Instituto de Biologia (IB), Nucleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (NEPAM), Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ), en Brasil; Instituto Darwiniano, en Argentina; Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la Agricultura (IFEVA), Museo de La Plata, Laboratorio Ecotono, Universidad del Comahue, Universidad de Córdoba, Instituto “Miguel Lillo”, en Argentina. Desde luego, la lista no está completa. En los recuadros adjuntos hay más detalles sobre tres centros de excelencia.

La mayoría de las instituciones anteriores, y muchas otras, poseen colecciones de biodiversidad sumamente valiosas. Por ejemplo: Herbario Nacional de México; Herbario Nacional Lic. Onaney Muñiz Gutiérrez y Herbario Prof. Dr. Johannes Bisse, en Cuba; Institute of Jamaica Herbarium, en Jamaica; Herbario Nacional de Panamá; Herbario Nacional de Venezuela; Herbario Nacional de Colombia; Herbario Nacional del Ecuador; Herbario de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador y Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, en Ecuador; Herbario Nacional de Bolivia; Herbario de la Universidad de Concepción, Museo Nacional de Historia Natural, Herbario de la Fundación Miguel Lillo y Herbario de la Universidad de Córdoba, en Chile; todos con colecciones de biodiversidad invaluable. Existen, además, muchas colecciones de importancia para ALC en herbarios y museos extranjeros, como: Missouri Botanical Garden; New York Botanical Garden; Royal Botanical Gardens at Kew; Field Museum, en Chicago; Smithsonian Institution, en Washington, DC; y University of California, Berkeley; para mencionar los más importantes. Es muy grato que estas últimas instituciones hayan tenido a bien publicar sus especímenes por Internet, como se aprecia en el extraordinario proyecto TROPICOS, encabezado por el Missouri Botanical Garden.

Otro recurso importante que está por dar fruto es la iniciativa denominada Latin American Plant Initiative (LAPI), que digitalizará especímenes “tipo” de las especies de plantas

RECUADRO V

INSTITUTO DE ECOLOGÍA Y BIODIVERSIDAD (IEB) DE CHILE.

(www.ieb-chile.cl)

El IEB fue creado en 2006 con recursos financieros del Banco Mundial, como parte de la Iniciativa Científica Milenio (ICM), y es uno de los cinco institutos chilenos de ese tipo que abarcan todos los campos de la ciencia. La mayor parte de sus recursos financieros proviene de subvenciones de la ICM y del Programa de Financiamiento Basal para Centros Científicos y Tecnológicos de Excelencia, también en Chile. El IEB fue constituido como una organización sin fines de lucro conforme a la legislación chilena, y como una red de científicos que creen que la ciencias básicas, combinadas con la teoría ecológica y el área de traslape entre las ciencias biológicas y sociales, es fundamental para avanzar en el manejo del medio ambiente y para genera bienestar social. Sus doce científicos de base ocupan puestos académicos en cinco universidades chilenas. La misión del IEB es conducir investigaciones básicas y aplicadas relevantes para el medio ambiente, capacitar investigadores de posgrado y posdoctorales, y realizar actividades de extensión. La interrogante medular en torno a la cual giran las investigaciones del IEB —cómo responderán a los cambios ambientales, tanto la biodiversidad *per se* como los procesos que la generan, teniendo en consideración los escenarios climáticos pasados, presentes y futuros, así como el cambio del uso del suelo— se aborda desde tres campos de investigación principales: 1] paleoecología y biogeografía; 2] ecología de ecosistemas; y 3] procesos microevolutivos; y dos temas transversales: 1] efectos del cambio global; y 2] conservación y sociedad. En conjunto, los científicos que integran el IEB han publicado más de 600 artículos, entre ellos muchos para las revistas *Nature* y *Science*, y escrito muchos libros académicos y dos Libros de Datos Rojos de Chile. El IEB está vinculado con los científicos de 16 países y motiva a sus estudiantes de posgrado y

asociados posdoctorales (que son entre 75 y 90) para que tomen cursos de capacitación de corto plazo en instituciones extranjeras. En Chile, el IEB recurre a tres estaciones de investigación ubicadas a lo largo del país, en los paralelos 30°, 42° y 54° de latitud sur, y organizadas en la llamada Red de Investigaciones Socioecológicas de Largo Plazo del IEB. Cuenta con acceso negociado a dos bases de datos georreferenciadas mayores. El IEB participa en actividades de capacitación a nivel de maestría, doctorado y posdoctorado (tanto de chilenos como de extranjeros) y ofrece, por concurso, un buen número de becas de investigación de posgrado y puestos posdoctorales, así como tres cursos internacionales. El IEB se enorgullece de su programa de extensión integral, basado en las áreas de desierto con lluvias invernales, clima mediterráneo, bosques húmedos templados y bosques húmedos subantárticos. El programa depende en gran medida de *Senda Darwin Foundation*, en Chiloé, y el Parque Etnobotánico Omora, en la Isla Navarino. Entre sus actividades de extensión están la realización de talleres de biodiversidad para maestros, niños en edad escolar y guías de parques nacionales; y la producción de libros, carteles, juegos y calendarios relacionados con la biodiversidad. El IEB ha desarrollado una buena relación de trabajo con la prensa, lo que significa muchos artículos en los periódicos sobre sus actividades. Participa activamente en varios comités normativos nacionales, como el Comité de Clasificación de Especies, y se relaciona estrechamente con el grupo de trabajo de certificación silvícola del Forest Stewardship Council (FSC) y con la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). Los científicos del IEB han mantenido, desde hace mucho tiempo atrás, relaciones de trabajo para la conservación de la biodiversidad con el sector privado chileno, y participaron en la negociación de una extensa reserva de conservación privada (80,000 ha) en Tierra del Fuego. Ha recibido cuatro premios internacionales mayores: El Premio Ambiental Volvo; el Premio Fundación BBVA a la Investigación Científica en Ecología y Biología de la Conservación; el Premio Mercer, de la Ecological Society of America; y el Premio Latinoamericano de Ciencias Biológicas para Jóvenes Científicos, otorgado por la OEA.

latinoamericanas guardadas en muchas instituciones y los publicará desde un sitio web. Dicho proyecto, financiado por la organización Andrew W. Mellon Foundation (www.mellon.org/grant_programs/programs/conservation), comenzó en 2007.

2.5.2. Estaciones de campo y sitios de estudio ecológico de largo plazo

Buena parte de las investigaciones sobre biodiversidad que se realizan en ALC depende mucho de las estaciones de campo permanentes. En ALC existen muchas de ellas (que varían en tamaño e infraestructura), pero todavía no se integran para formar una red regional. México, Brasil, Colombia, Costa Rica y Venezuela son los únicos países que cuentan con estaciones de investigación de largo plazo integradas a la ILTER, es decir, la división internacional de la red LTER (Long Term Ecological Research Network). Por estas fechas, Chile está en vías de unirse a la ILTER. México forma parte de la Red Regional Norteamericana de la ILTER, mientras que el resto de los países forman parte de la Red Centro y Sudamericana de la ILTER. Como dato relevante, Brasil tiene 12 sitios ILTER: los principales son la Estación de Campo Maricá, en Río de Janeiro, que representa las restingas y lagunas costeras del norte del estado; NUPELIA/UEM, en Maringá, ubicada en las llanuras aluviales del Alto Paraná; y el Parque Nacional das Setes Cidades/UFPI, en Chapadinha, ubicada en el Cerrado marginal de Piauí, en el noreste de dicho país.

Estas son algunas estaciones de campo importantes de ALC: la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, que representa un ecosistema de bosque húmedo tropical, y la Estación de Biología Chamela, que representa una selva baja caducifolia, ambas en México, y administradas por la UNAM; la Estación Costera de Investigaciones Marinas (ECIM), Las Cruces, es un importante centro de investigaciones biológicas marinas de Chile central. La estación Senda Darwin, situada en el bosque húmedo templado de Chile, y la estación Fray Jorge, que está en la zona desértica con lluvias invernales de Chile, están realizando importantes experimentos ecológicos, de largo plazo, para determinar los efectos del fenómeno de El Niño sobre la biodiver-

sidad (tanto de plantas como de animales) y la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas. En Brasil destacan la *Reserva Ducke*, en Manaus; el Centro de Biología Marina/USP, en São Paulo; la Fazenda Nhumirim e Base do Lontra, en Mato Grosso do Sul; y la Estação Ecológica do Taim, en Rio Grande do Sul.

2.5.3. Formación de las capacidades humanas

Los grandes institutos de biodiversidad aceptan muchos estudiantes y asociados posdoctorales procedentes de otros países dentro y fuera de ALC. Dichas instituciones ofrecen, además de los cursos de posgrado ordinarios, cursos internacionales especiales de posgrado.

Varias redes formales e informales organizan cursos y talleres de posgrado en disciplinas relacionadas con la biodiversidad. A modo de ejemplo, la Red de Genética para la Conservación (ReGeneC) ofrece cursos de genética de la conservación. La Red Latinoamericana de Botánica (RLB), también conocida como Latin American Plant Sciences Network (LAPSN), ha ofrecido activamente cursos de posgrado en ciencias botánicas durante 25 años y es reconocida por su pericia. Está organizada como un consorcio de centros de excelencia en América Latina, diseñado para multiplicar la capacidad científica innovadora en el campo de la botánica, al ofrecer capacitación a nivel de posgrado para los estudiantes de la región. Hay centros de capacitación en México, Costa Rica, Venezuela, Brasil, Chile, Colombia y Argentina, y las oficinas centrales están en la Universidad de Chile, en Santiago. Esta red ha empezado a romper el aislamiento que prevalece entre los países latinoamericanos y a promover investigaciones científicas en colaboración, lo que le valió el Premio Tyler.

2.5.4. Educación y medios de comunicación

En la sesión de clausura del Simposio BioEd 2000: El desafío del próximo siglo, el Sr. Koichiro Matsuura, Director General de la UNESCO, declaró:

Necesitamos redoblar nuestros esfuerzos educativos en materia de diversidad biológica, para crear mayor conciencia pública mundial sobre los problemas que nos aquejan. Sólo un electorado mundial educado en material de biodiversidad logrará hacer presión suficiente para asegurar que se tome el camino hacia un futuro sustentable.

Lo anterior nos recuerda la necesidad de fortalecer los programas de difusión y educación científica en materia de biodiversidad en toda ALC, así como de forjar estrechas relaciones con los medios de comunicación. Y la necesidad de pedir a los científicos que participen directamente en la solución de ambos problemas. Los científicos que realizan investigaciones fundamentales pueden tener, en última instancia, gran ascendiente en la sociedad; aunque en muchos casos resulta difícil percibir las repercusiones de los descubrimientos científicos en el momento de hacerlos, ya que la mayoría de ellos tienen, tarde o temprano, alguna aplicación directa o influencia social. Eso es particularmente cierto en el ámbito de la biodiversidad, donde los conocimientos biológicos básicos sobre especies y ecosistemas se han convertido en un pilar fundamental de la industria turística y se relacionan directamente con los efectos del cambio climático. Además, cuando la ciudadanía conoce las especies y los ecosistemas que existen en su país, se fortalecen el orgullo y la cultura nacional y se despierta la curiosidad de descubrir e indagar lo desconocido. Por otro lado, la participación de los científicos en el proceso de promoción del conocimiento científico, mediante actividades de difusión y artículos en la prensa, es fundamental si aquellos pretenden conservar la confianza del público.

Nos complace mucho informar que la prensa de ALC ha dado grandes pasos al reportar las investigaciones científicas en general. Una encuesta realizada en 2007 por uno de nosotros (MTKA) sobre hasta cinco de los principales periódicos de cada uno de los 18 países de ALC (no todos tenían cinco), reveló que 34 de esos diarios tenían algún tipo de página de ciencia/tecnología: www.ianas.org/06-07_venezuela/apresentacoes_es.html. La prensa de ALC ha informado sobre muchos artículos publicados en revistas influyentes. Sin embargo, los reportajes sobre investigaciones en áreas como la astronomía y la biotecnología tienden a ser más frecuen-

tes que los descubrimientos de las ciencias de la biodiversidad, un síndrome omnipresente que se evidencia en el interés público, generalmente mayor en noticias sobre, por ejemplo, la exploración espacial que en exploraciones y descubrimientos en la Tierra, o en la biología molecular por sus vínculos con la salud humana. Un artículo ampliamente cubierto por la prensa de ALC fue "Diversity without Representation" (Diversidad sin defensa), publicado en la revista *Nature* (Loreau y cols., 2006). En lo que a educación pública se refiere, varias fundaciones e institutos científicos nacionales de la región ofrecen fondos especiales para el desarrollo de actividades de extensión. Sin embargo, los científicos de ALC (y el resto del mundo) siguen tendiendo a considerar que su participación en actividades de extensión e interacción con los medios de comunicación interfiere su trabajo principal. La preservación y sustentabilidad del capital natural de ALC implica una enorme tarea que requiere la colaboración de todas las partes interesadas. En ALC, la investigación científica está financiada principalmente por medio de fondos públicos. Por consiguiente, los científicos deben considerar la promoción del conocimiento científico mediante actividades de difusión, educación e interacción con los medios, como parte de sus responsabilidades.

3. PLAN CIENTÍFICO

3.1. ANÁLISIS SINÓPTICO

La presente evaluación sobre la biodiversidad y su investigación en América Latina y El Caribe deja pocas dudas de que la región es *el área con mayor diversidad biológica de la Tierra*. Sin embargo, el nivel alcanzado por las ciencias de la biodiversidad en la región tiende a ser desigual y, por lógica, existen diferencias en prioridades, metodologías e infraestructura para el estudio de la biodiversidad. *A pesar de esto último, el alcance de la investigación indica que ALC cuenta con varios grupos e instituciones de investigación de primer nivel que se dedican al estudio de la biodiversidad, y subraya la necesidad de coordinación interinstitucional al nivel internacional*. Aunque no se cuenta con análisis específicos de la productividad científica de la región en el área de ciencias biológicas, una inspección rápida de las páginas web de los centros antes citados, dejará ver que están a la par o casi al nivel de muchos de los mejores centros internacionales del mundo desarrollado. El nivel de las ciencias de la biodiversidad se ha elevado considerablemente en ALC durante los últimos diez años, gracias a que varios consejos nacionales de ciencias exigen la publicación en las revistas del ISI y la acreditación de citas del ISI al solicitar fondos financieros.

En la actualidad, las ciencias de la biodiversidad se encuentran muy activas en ALC y sus metodologías abarcan todo el espectro, desde trabajos muy básicos hasta investigaciones sobre las principales interrogantes científicas en materia de diversidad biológica. *Quizá lo más notorio sea la ausencia de casos en los que los científicos*

de ALC se reúnan de vez en cuando, para sentarse un par de días en torno a una mesa, a fin de resolver los problemas conceptuales y los marcos de referencia de sus áreas de investigación específicas. Los científicos que ya entendieron el valor de esta forma de trabajar, tienden a interactuar con redes de otros colegas en Estados Unidos, Europa y otros países desarrollados. Nos parece indispensable promover una mayor interacción entre los científicos de ALC y, para ello, la región deberá identificar a sus líderes y consultarlos. Asimismo, ha llegado la hora de recalcar el valor de recopilar acervos de datos sobre la región e iniciar análisis regionales.

La evaluación reveló, mediante dos estudios de caso, que ya han surgido en ALC metodologías integradoras que llevan la investigación en el campo de las ciencias de la biodiversidad más allá del ámbito tradicional de las ciencias biológicas. Además, varias instituciones científicas de la región participan activamente en labores de extensión e interacción con los medios de comunicación.

Es necesario que la comunidad de investigadores de la biodiversidad de ALC se actualice para ponerse al nivel de la "Era de la información". Es necesario que los científicos de la biodiversidad, ya sea en el campo de la taxonomía o en el de la ecología, entiendan los procesos complejos que requieren el manejo y el uso de grandes conjuntos de datos o series recopiladas en el largo plazo. Eso requiere un nuevo tipo de pericia, y hacer a un lado las iniciativas individuales para integrar equipos y realizar investigaciones en colaboración.

De modo más puntual, se observó que en lo referente al *descubrimiento de la biodiversidad*, los países tropicales más grandes, importantes y biodiversos de la región, como Brasil y Venezuela, aún carecen de guías de identificación completas para sus especies de plantas y de muchos grupos de animales; y sin embargo, al mismo tiempo han logrado avances comparables con los de muchas regiones desarrolladas del mundo, como se aprecia en el Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur, a punto de ser publicado; lo anterior demuestra que sí es posible realizar estudios de gran envergadura en la región.

De un modo similar, aunque dos países de la región (México y Costa Rica) han logrado "nacionalizar" o centralizar su información sobre la biodiversidad gracias al

constante apoyo financiero de sus gobiernos, poniéndola a disposición del público por Internet, en el otro extremo están los países que carecen de bases de datos electrónicas de su biodiversidad, o cuyos gobiernos o consejos nacionales de ciencias, cuando existen, o no consideran prioritaria la publicación en línea de sus datos de biodiversidad georreferenciados existentes, o no han logrado establecer acuerdos prácticos que aseguren tal publicación, de tal suerte que todos los científicos puedan consultarlos.

En el área de los *procesos evolutivos y ecológicos* que generan, sustentan y distribuyen la biodiversidad, el nivel alcanzado por los países más desarrollados de ALC en materia de ecología, ecología evolutiva y otras disciplinas afines, es tal que los científicos pueden abordar rápidamente las interrogantes científicas fundamentales y publicar sus estudios en revistas influyentes. Sin embargo, aún persiste la tendencia a seguir investigando en aislamiento, con poco trabajo comparativo entre los principales gradientes ecológicos presentes en la región, e incluso con una menor vinculación con investigaciones de escala global y grandes programas internacionales de biodiversidad, como DIVERSITAS.

Por otra parte, el descubrimiento de la biodiversidad de los muchos hábitats excepcionales de ALC, así como de sus organismos subterráneos y microorganismos, apenas ha dado comienzo.

Un problema evidente en este campo de la investigación de la biodiversidad es que el financiamiento suele ser insuficiente para asegurar que los conjuntos de datos fundamentales sean organizados de tal manera que se presten a visitas futuras de los lugares estudiados, y para mantener estaciones de campo y sus instrumentos. Aunque se están efectuando investigaciones sobre los efectos del cambio climático, los cambios del uso del suelo y las especies invasoras, resulta difícil ir más allá de tales estudios, debido a la falta de bases de datos georreferenciadas abiertas al público y a las limitaciones de acceso en algunos países a la información climática y a otras fuentes de datos de ese tipo.

En lo que respecta a las metodologías moleculares y genómicas, varios países latinoamericanos tienen la pericia y la capacidad intelectual necesarias, y ahora

cuentan con varios laboratorios bien equipados. Algunos grupos de investigación en este campo han reconocido ya el valor de vincularse con investigadores extranjeros como una manera de avanzar más rápido.

En el importante campo de los *servicios ecosistémicos* y el *avalúo socioeconómico de la biodiversidad*, la evaluación indica un desarrollo que, si bien es tibio, resulta prometedor.

En el área de *la conservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad*, la evaluación indica que los esfuerzos científicos no han logrado orientar a los gobiernos de ALC en lo referente a la ubicación ideal de las áreas naturales protegidas (ANP). La posibilidad de reducir la categoría de protección de los parques y las reservas existentes a fin de reemplazarlas con otras áreas, no sólo no es viable, sino que no sería aceptada por una sociedad y una industria turística que ha aprendido a estimar dichas ANP por sus valores recreativos y belleza escénica. Además, existe la necesidad urgente de entender el potencial de conservación de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en la matriz de agropaisajes o ecosistemas sujetos a manejo.

En suma, el objetivo del *Programa de Investigación de la Biodiversidad de ICSU-ALC* que aquí presentamos, debe ser el de promover estudios científicos de talla internacional que sean relevantes para la sociedad. Además, debe vérselo como una ventana de oportunidad para expandir el alcance de las ciencias de la biodiversidad en la región, al tiempo que para capacitar a los científicos con el objetivo de trabajar en colaboración.

3.2. TEMAS DE INVESTIGACIÓN PRIORITARIOS

De conformidad con la evaluación y el diagnóstico sinóptico anteriores, la Guía de Planeación Estratégica (SPG) de ICSU-ALC en materia de biodiversidad logró identificar los siguientes temas como prioridades de investigación para el Programa de Investigación de la Biodiversidad de ICSU-ALC. Se pueden encontrar otras necesidades de investigación en las secciones relevantes de esta evaluación.

1. Desarrollo de bases de datos georreferenciadas y terminación de los inventarios biológicos, a fin de poner a prueba hipótesis sobre los patrones planetarios de gran escala de la biodiversidad, y detectar los efectos de las fuerzas de cambio globales —como el cambio climático— en la biodiversidad, haciendo hincapié en las principales carencias de conocimiento, así como en las oportunidades generadas por los modelos de gradientes ecológicos de ALC. Consideramos que esta prioridad se proyecta en distintas escalas espaciales, según el nivel de los conocimientos y la infraestructura existentes.

En el ámbito regional, la SPG en materia de biodiversidad considera imperativo el desarrollo de hipótesis, susceptibles de ser puestas a prueba, relacionadas con los patrones de la diversidad de las especies, el endemismo y la variación funcional de la biodiversidad marina y de agua dulce, de modo que complemente lo que se sabe acerca de los hábitats terrestres. Esto implica, necesariamente, el desarrollo de bases de datos electrónicas y de tener facilidad de acceso por Internet. Como requisito obligatorio, tales bases de datos deben incluir información sobre el estado de conservación y los valores de aprovechamiento sustentable de las especies marinas y de agua dulce. Los estudios en los ámbitos nacionales son menos atractivos para este Programa, pues el objetivo aquí es detectar patrones regionales.

A nivel de ecosistemas, la SPG-2 concluyó que deben aprovecharse las investigaciones permanentes sobre la flora alpina de la cordillera de los Andes, que abarca desde latitudes tropicales hasta subantárticas, a fin de poner a prueba las hipótesis sobre la distribución latitudinal de la biodiversidad y modelar los efectos del cambio climático. La evaluación demostró que la franja alpina es uno de los pocos ecosistemas de ALC que cuenta con conocimientos detallados sobre la distribución de la flora total. Los pronunciados gradientes altitudinales de Los Andes son un modelo excepcional para investigar las respuestas de las especies ante el cambio climático en una amplia variedad de especies, géneros y familias de plantas. Puesto que están sujetas a muy diversos tipos de clima debido a su inmensa extensión latitudinal, las alturas andinas son una mina de oro virgen para este tipo de investigaciones.

En el ámbito nacional, recomendamos que se redoblen los apoyos para el trabajo de investigación de la CONABIO (México) y Biota Neotropica (Brasil), y que se contemple que su pericia sea compartida con otros estados y países, y que se aumente el número de grupos taxonómicos incluidos en sus programas. El aumento en la capacidad de estas instituciones, por ejemplo, aumentaría considerablemente el potencial de modelar los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad, así como la modelación de la conservación a nivel de especie.

La SPG recomienda, muy especialmente, que se haga el esfuerzo de completar guías de identificación comentadas sobre las plantas vasculares de la región, de modo que podamos avanzar gradualmente hacia un inventario completo de este grupo en ALC y, por ende, no seguir dependiendo de las estimaciones actuales. Además de la información botánica básica, dichas guías de identificación deberán contener, en la medida de lo posible, la información sobre el estado de conservación y el valor de aprovechamiento sustentable de las especies, aparte de ser revisadas por colegas y publicadas posteriormente. El lugar lógico para empezar esta labor sería Brasil; sin embargo, sería importante hacer esfuerzos subregionales con apego al modelo del Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur y la Flora Mesoamericana. Una vez recopilada, esa información permitiría poner a prueba un sinnúmero de hipótesis biogeográficas. Y si el desarrollo de tales guías de identificación implica la capacitación de más taxónomos, ésta deberá recibir apoyo total (véase la sección 2.5.3, Formación de las capacidades humanas).

Todas las recomendaciones de investigación específicas anteriores deberán ser planificadas de tal modo que contribuyan a un siguiente objetivo de *investigación como valor agregado*. En nuestra opinión, será necesario desarrollar parámetros sintéticos de biodiversidad que vayan más allá de los conceptos de las áreas críticas de biodiversidad (ACB) y los últimos bosques (UB). Eso significa integrar información sobre diversidad de especies, endemismo, escasez mundial, diversidad filogenética, diversidad de interacción de especies, valor de los servicios ecosistémicos y, en la medida de lo posible, diversidad funcional.

2. Desarrollo de síntesis de la información filogenética molecular de la región, con el objeto de detectar patrones filogenéticos y estudiar la diversidad filogenética de la biota de ALC.

La evaluación demostró que ha llegado la hora de analizar la enorme cantidad de información filogenética acumulada sobre grupos de organismos cuyas áreas de distribución tienen sus centros en ALC, de modo que podamos poner a prueba hipótesis clave de relevancia teórica y aplicación práctica. Si lo logramos, ALC pudiera ser la primera región del mundo que determine la diversidad de sus clados en la mayor parte de su gradiente latitudinal, además de investigar interrogantes como las diferencias latitudinales en tasas de especiación y diversidad filogenética. Al mismo tiempo, esas investigaciones aportarían información significativa para mejorar los mapas biogeográficos actuales de la diversidad marina, de agua dulce y terrestre de la región. Buena parte de esa investigación se puede efectuar con base en talleres de expertos.

3. Es de suma importancia también concretar la evaluación de los servicios ecosistémicos en ecosistemas terrestres naturales y, de manera urgente, además, en aquellos sujetos a manejo.

La enorme cantidad de áreas naturales protegidas de ALC aporta muchos servicios ecosistémicos al sistema de soporte vital del planeta. Sin embargo, se dispone de pocos estudios formales sobre tales servicios, de modo que permitan contabilizarlos como parte de los activos de cada país y, por ende, deberán promoverse tales estudios. Por otro lado, como ya hemos insistido, gran parte de la biodiversidad de ALC se encuentra principalmente en ecosistemas terrestres sujetos a manejo. Esa biodiversidad relictiva, que se encuentra en forma de “islas” forestales y franjas de protección fluvial, necesita ser apreciada en función del valor de sus servicios ecosistémicos, como protección contra la erosión, la fijación de carbono y la preservación de recursos hídricos, y, así, como parte de la contabilidad nacional. La necesidad de tales estudios es apremiante, pues ellos servirán de argumentos para salvar los

cientos de especies de plantas y animales que viven en los alterados ecosistemas de ACB como Mesoamérica, la región central de Chile, el Cerrado Brasileño y Chocó-Darién-Ecuador Occidental.

También urgen estudios sobre algunos “grupos clave” que aportan servicios ecosistémicos por sí mismos. Por ejemplo, la SPG en materia de biodiversidad recomienda que se hagan estudios al nivel de ecosistema sobre las especies nativas de plantas y animales, pero teniendo como objetivos principales los agentes de control biológico (murciélagos, parasitoides, etc.) y polinización (p. ej., abejas), a fin de capturar su valor como protectores y polinizadores de cultivos y árboles nativos en el contexto de un servicio ecosistémico, y de precisar su estado de conservación a la luz del impacto antropogénico, tal como en el caso de la reciente introducción de varias especies de abejas invasoras y agresivas en la región. La evaluación de los factores ambientales clave, que influyen de manera desproporcionada en la prestación de tales servicios, debe ser uno de los primeros objetivos de las investigaciones sobre servicios ecosistémicos (Kremen, 2005). En dichos estudios deberá evaluarse la posibilidad de conservar los relictos de vegetación nativa en los agropaisajes y ecosistemas agrosilvícolas, tanto por su capacidad de absorción de carbono, como por su disponibilidad como hábitat de abejas polinizadoras. Por otro lado, es necesario desarrollar sistemas de alerta temprana que nos adviertan sobre el impacto de especies introducidas, como las abejas agresivas y las plagas dañinas, lo que constituye un campo de estudio y experimentación totalmente abierto a la investigación.

4. Es decisivo consolidar una red de observatorios ecológicos en ALC, a fin de iniciar estudios experimentales y proyectos de monitoreo/seguimiento de largo plazo, sobre los efectos de los cambios climáticos y de uso del suelo en la biodiversidad presente en los ecosistemas naturales y sujetos a manejo.

Para una buena planeación nacional en materia de agricultura, ecoturismo y conservación, es indispensable disponer de conocimientos sobre cómo responderán los organismos, los ecosistemas naturales y los agropaisajes ante el cambio climático, los

eventos de El Niño y el cambio del uso del suelo. Pocas regiones del mundo son tan ideales como ALC para emprender ese tipo de investigaciones. En la SPG en materia de biodiversidad se considera que ALC debe aprovechar al máximo la presencia de sus diversos gradientes y situaciones ecológicas contrastantes, como: a] el gradiente de bosques húmedos tropicales-templados; b] el gradiente de humedad-aridez, tal como se aprecia en ambas vertientes de la Sierra Madre Oriental de México y ambas costas de Sudamérica, entre los 30 y 23° de latitud sur; c] los agropaisajes de importancia económica; y d] el ya mencionado gradiente latitudinal que representa la cordillera de los Andes. Entre las investigaciones pendientes, se encuentran experimentos específicos sobre los efectos del cambio climático y los cambios del uso del suelo en la biodiversidad, y la vigilancia de largo plazo de la fenología de las plantas y el comportamiento de los animales, entre otras variables, como indicadores de cambio.

La primera etapa consistiría en identificar, mediante un taller regional, la capacidad de investigación permanente y las estaciones de campo y otras infraestructuras existentes. Dentro de lo posible, tales sitios deben encontrarse en lugares que cuenten con datos georreferenciados en escalas espaciales más grandes, de modo que sea posible mejorarlos en forma paulatina. Este tipo de investigación de largo plazo requiere un firme compromiso por parte de los gobiernos, que deberán financiar costosos equipos de campo para monitorear variables climáticas y de otros tipos, y costear su mantenimiento.

5. Desarrollar una evaluación regional de los efectos de las especies invasoras sobre la biodiversidad, en el contexto de los sistemas de alerta temprana.

La evaluación reveló que nuestros conocimientos acerca de las especies invasoras son insuficientes en la mayoría de los grupos biológicos. Sin embargo, se demostró que las probabilidades de arribo y dispersión de nuevas especies invasoras son muy altas en ALC, sobre todo con la globalización y el aumento de la integración de los países de la región, lo cual implica a la larga, al menos en potencia, el riesgo de

una pérdida significativa de biodiversidad nativa y grandes costos financieros. Debido a sus complejas interacciones con el cambio climático, se considera que la Antártida es una de las áreas más vulnerables y que, por lo mismo, debiera ser contemplada en la evaluación del impacto de la invasión biológica, si bien en principio parecería ser una zona aislada de la globalización. Tal evaluación debería incluir, desde luego, los ecosistemas subantárticos vecinos.

La dinámica del intercambio biótico indica que debemos cambiar nuestras maneras de comunicar los descubrimientos científicos, si es que queremos que sean relevantes para la sociedad. No podemos seguir confiando en listas de especies invasoras publicadas que se actualizan, por decir algo, cada diez años. Se requieren medios mucho más flexibles para informar sobre las nuevas especies introducidas y sus efectos. Tal como la visualizamos, una evaluación de las especies invasoras a escala regional debe constar de cinco etapas parcialmente traslapadas: a] el desarrollo de una base de datos regional, con acceso por Internet, que incluya las especies foráneas de todos los grupos taxonómicos y datos de validación generados por taxónomos capacitados; b] el desarrollo de un conjunto de criterios que permitan averiguar si una especie foránea específica pudiera ser nociva; c] la puesta en marcha de un sistema de alerta temprana de especies invasoras por Internet; d] investigaciones ecológicas que precisen las diferencias entre los ecosistemas en cuanto a susceptibilidad a las invasiones; y e] el establecimiento de vínculos con los organismos gubernamentales encargados de controlar la especies invasoras.

6. Transferencia del conocimiento sobre biodiversidad y diversidad biocultural y su aplicación al desarrollo de actividades económicas sustentables, incluyendo los beneficios de la bioprospección.

Vistas las tendencias actuales de la urbanización, así como la extraordinaria biodiversidad de ALC y los vastos conocimientos bioculturales acumulados por sus indígenas y otros habitantes locales, la investigación de los ecosistemas vinculados con el ser humano es una prioridad de la región. La protección de remanentes de ecosiste-

mas naturales mediante actividades no extractivas o la plantación de especies vegetales nativas (que atraen otras formas de biodiversidad) en las ciudades, son maneras de proporcionar a los habitantes locales y al resto de la sociedad los beneficios de los servicios ecosistémicos derivados de la vegetación natural e inducida. Los proyectos de alto perfil de esta índole pueden generar un sentido de orgullo nacional y regional, además de servirles de ejemplo a otros usuarios del suelo. Este campo específico de la investigación requiere una amalgama de difusión educativa en materia de biología, sociología y economía; capacidad para convertir actividades relacionadas con la biodiversidad en formas de desarrollo económico sustentable; y más que nada, pragmatismo. Por lo tanto, si bien constituye un gran desafío para ALC, bien vale la pena abordarlo. Ésta es un área de investigación abierta y, por lo mismo, requiere que los que la encaren estén dispuestos a correr riesgos y a entender su complejidad. No obstante, desde el punto de vista social, esta prioridad de investigación es absolutamente indispensable para ALC.

Consideramos que este tipo de investigación es particularmente urgente en cinco casos: 1] los ecosistemas latitudinalmente extremos, donde no existen condiciones para practicar la agricultura y la silvicultura convencionales ni otras actividades económicas; 2] los ecosistemas costeros donde el sustento de miles de habitantes locales depende de los recursos marinos; 3] el interior de los grandes complejos urbanos; 4] los últimos bosques y las áreas críticas de biodiversidad, cuya desaparición significaría enormes pérdidas de biodiversidad y servicios ecosistémicos; 5] los ecosistemas tropicales vinculados con el ser humano, donde abundan los conocimientos tradicionales sobre el manejo de tales ecosistemas. Las investigaciones de este tipo deben incorporar el avalúo de los servicios ecosistémicos, incluyendo la fijación del carbono y la regulación del flujo del agua, así como la evaluación de las actividades económicas que dependen de la biodiversidad nativa. En ALC existen varias iniciativas permanentes que podrían ser objeto de este tipo de investigaciones.

7. Empezar la búsqueda de soluciones para la aplicación de medidas de conservación de la biodiversidad en los paisajes terrestres y marinos sujetos a manejo.

La evaluación reveló que, si bien es cierto que ALC posee una cantidad excepcional de ANP terrestres y marinas, donde se están efectuando investigaciones serias, muchas de ellas protegen la biodiversidad en forma inadecuada; además, se detectó en toda la región un enorme desequilibrio de cuidado y amparo entre los ecosistemas forestales y los ecosistemas áridos y semiáridos. Al mismo tiempo, la evaluación demostró que inmensas extensiones de ecosistemas naturales de ALC están siendo transformadas con fines agrícolas, ganaderos y silvícolas, a tal grado que los corredores de vegetación natural que conectan las ANP están siendo destruidos paulatinamente. Para empeorar las cosas, la integridad de las ANP, muchas de las cuales ya quedaron aisladas por un mar de tierras sujetas a manejo, hoy se ve amenazada por el cambio climático. Todas estas tendencias hacen de la incorporación de medidas de protección en los paisajes terrestres y marinos sujetos a manejo, un área de investigación prioritaria en ALC.

Este tipo de investigación, al igual que la Prioridad 6, requiere una metodología integradora. En el caso de los hábitats terrestres, los habitantes rurales —que en muchos casos son los propietarios de la tierra— deben percibir algún beneficio a cambio de participar en la conservación; al mismo tiempo, las medidas de conservación propuestas por los científicos deben procurar una distribución espacial óptima y contribuir a las necesidades generales de conservación de los ecosistemas y las especies de cada país. En el mar, se necesitan investigaciones para averiguar si la protección de pequeñas áreas costeras —pequeñas “arcas de Noé”—, aumentan la biodiversidad de las áreas sujetas a manejo y permiten preservar la diversidad genética. Por otro lado, es indispensable que los habitantes locales se beneficien con el valor de tales medidas, vía certificación, pagos por protección de servicios ambientales y otros esquemas similares, de modo que reciban ingresos y bienestar en general. La factibilidad y el enorme potencial de esta metodología han quedado demostrados en varios casos de ALC, como los varios ejemplos marinos y costeros de Chile; la Reserva de la Biosfera de Cabo de Hornos; el manejo sustentable de bosques y la certificación forestal en México; y la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario en Cuba. En este campo de investigación del programa, las áreas prioritarias son los ecosistemas

áridos y semiáridos, y las áreas críticas de biodiversidad (ACB) como la región central de Chile, el Cerrado Brasileño, Mesoamérica, el centro vaviloviano de la región andina, y El Caribe.

8. Desarrollo de estudios sobre el valor de los servicios ambientales aportados por la biodiversidad urbana.

Como ya se explicó, la creciente población urbana de ALC debe recibir educación sobre la biodiversidad, a fin de aumentar la capacidad y el poder de influencia de la ciudadanía a la hora de exigir sus derechos en materia ambiental. El desarrollo de investigaciones sobre los servicios ambientales derivados de la biodiversidad urbana y su difusión al público representan un mecanismo ideal para atacar esta necesidad.

3.3. ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN Y EXTENSIÓN

La SPG-2 establece, sin concesión alguna, que todos los investigadores y los estudiantes de posgrado que participen en proyectos financiados por el Programa de Investigación de la Biodiversidad de ICSU-ALC, además de comunicar sus resultados en eventos científicos, tienen la obligación de realizar actividades de extensión fuera del ámbito académico. Esto puede ser en forma de presentaciones públicas, talleres de difusión educativa, desarrollo de páginas Web interactivas, redacción de artículos para el público en general, y asociaciones de enseñanza compartida con los profesores de ciencias de escuelas de nivel básico y medio, entre otras.

3.4. VÍNCULOS CON LAS REDES INTERNACIONALES EXISTENTES A FAVOR DE LA BIODIVERSIDAD Y OTROS TEMAS AFINES

Las prioridades de investigación 1 a 7 son congruentes con el Plan Científico de DIVERSITAS (www.diversitas-international.org/docs/diversitas/diversitassp.pdf) y

con la posible implementación del Mecanismo Internacional de Pericia Científica sobre Biodiversidad (International Mechanism of Scientific Expertise on Biodiversity, IMOSEB) o alguna modificación de éste en el futuro inmediato (www.imoseb.net). Además, cumplen las recomendaciones generales emergidas de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (www.millenniumassessment.org) y tienen vínculos directos con las investigaciones sobre el cambio climático (www.ipcc.ch).

Más específicamente, las prioridades de investigación 1, 3 y 4 pudieran vincularse de manera rentable con las siguientes redes temáticas y transversales: a] GEOSS (www.epa.gov/geoss); b] NEON (www.neoninc.org/); c] ILTER (www.ilternet.edu); d] GMBA (www.gmba.unibas.ch) (véase Körner y cols., 2007). La red GEOSS es el producto del grupo GEO-BON (Scholes y cols., 2008), una asociación voluntaria de gobiernos nacionales y organizaciones independientes. Por ahora, GEOSS está en fase de planeación bajo la coordinación de DIVERSITAS y la NASA. La red NEON es un instrumento de investigación a escala continental que consta de una infraestructura geográficamente distribuida y enlazada mediante avanzados sistemas de comunicación a cargo de la Fundación Nacional de Ciencias (NSF), de los Estados Unidos. La red ILTER es una red ecológica de largo plazo, activa desde hace tiempo, que tiene amplia experiencia en el diseño de experimentos de largo plazo en el campo. La red GMBA es una conexión transversal de DIVERSITAS dedicada a la biodiversidad montana, que actualmente se ha concentrado en promover el uso de bases de datos georreferenciadas como herramienta para investigaciones sobre biodiversidad.

La prioridad de investigación 2 es relevante para la red del Arbol de la vida (Tree of Life) (www.tolweb.org).

La prioridad de investigación 5 coincide bien con la red IABIN (Inter American Biodiversity Information Network) (www.iabin.net), la red MIREM (Mountain Invasive Species Network) y varias iniciativas permanentes en México (p. ej., el programa de especies invasoras de la CONABIO) y El Caribe (www.invasivespeciesinfo.gov/international/mexcarib.shtml).

La prioridad de investigación 6 es relevante para el desarrollo de reservas de la biosfera (www.unesco.org/mab/BRs.shtml) y para la red de estudio y conserva-

ción de ecosistemas marinos, PISCO (www.piscoweb.org), así como para la notoriamente exitosa y productiva fundación Christensen (The Christensen Fund), que trabaja a favor de la *diversidad biocultural*, tanto en sus programas regionales (que incluyen una parte de México), como en su programa global (www.christensenfund.org).

La prioridad de investigación 7 coincide con el trabajo de Conservation International en las áreas críticas de biodiversidad (www.biodiversityhotspots.org), y con el prestigiado trabajo de The Nature Conservancy en Sudamérica (www.nature.org/wherewework/southamerica).

4. FORMACIÓN DE LAS CAPACIDADES HUMANAS, TALLERES, INFRAESTRUCTURA Y OTRAS NECESIDADES

4.1 CAPACITACIÓN

1. Capacitación e integración de taxónomos en diversas áreas del Programa de Investigación de la Biodiversidad. Una de las amenazas más graves para la biodiversidad de ALC se relaciona con la falta de taxónomos capacitados. Esto último se debe a la índole competitiva de las ciencias en la América Latina actual, de modo que la taxonomía, que normalmente genera artículos que reciben pocas citas en el ISI, no es vista como una opción viable como carrera profesional en el ámbito de la investigación científica.

2. Capacitación de científicos en lo referente al valor de la investigación en colaboración, las metodologías integradoras y la vinculación internacional. La falta de metodologías integradoras en América Latina se debe en parte a la estructura, más especializada, del plan de estudios de las universidades de ALC, por lo que será necesario tomar medidas para superar este obstáculo y la tendencia de sus científicos a predominantemente mirar hacia el mundo desarrollado cuando se está en busca de asociados y motivación.

3. Capacitación práctica de los estudiantes y el personal profesional con respecto al manejo de datos y otros conocimientos y métodos de investigación en centros de excelencia ubicados dentro y fuera de la región. Este tipo de capacitación es particularmente importante para el manejo de complejos instrumentos de grabación y registro de datos en las estaciones de campo.

4. Incorporación de investigadores jóvenes en programas posdoctorales extranjeros, y promoción de pasantías de investigación para estudiantes de posgrado en

los países que tengan las mejores capacidades (dependiendo de los intereses específicos de los investigadores y estudiantes) dentro de ALC, así como en países fuera de ALC. Esto es fundamental para dotar de personal mejor capacitado al programa, al tiempo que se promueve la internacionalización e interacción entre los laboratorios de investigación participantes.

5. Promoción de talleres en los que participan científicos y medios de comunicación. Este tipo de actividad ha sido útil para desarrollar y estrechar vínculos de confianza entre los científicos y los medios de comunicación.

Las anteriores acciones de formación de capacidades humanas apuntan directamente a la expansión de los horizontes de los estudiantes e investigadores de ALC, a fin de prepararlos para conducir trabajos científicos en un mundo globalizado, y con problemas cada vez más complejos, al tiempo que se aprovecha el programa de investigación para capacitar a (y aprender de) jóvenes científicos de otras partes de la región y fuera de ésta.

4.2. TALLERES

Puesto que muchas de las actividades de investigación propuestas requieren de la colaboración entre investigadores de diversos países de ALC, será indispensable realizar talleres a fin de desarrollar objetivos en común, protocolos y otras propuestas de investigación. Los talleres iniciales deberán ser seguidos por juntas periódicas (reales o virtuales), de modo que se mantenga la cohesión, se presenten nuevas instrucciones y se evalúe el avance.

El plan científico debe incluir fondos etiquetados para reunir a científicos que desarrollen marcos de referencia conceptuales, analicen los conjuntos de datos existentes y elaboren síntesis científicas. Ya se mencionó un ejemplo específico (Prioridad 2). Sin embargo, se deberá recurrir a esta misma modalidad para elaborar síntesis en otras áreas de investigación. Cada contrato con el programa deberá incluir resultados concretos y explícitos, como recopilación de datos y producción de artículos multiautorales de alto impacto, en un plazo específico. Latinoamérica ha sido gene-

rosa al proporcionarles fondos a sus estudiantes y científicos para que participen en congresos científicos; si bien es obvio que estos últimos deben continuar, ha llegado el momento de ensanchar el espectro en lo que se refiere a expectativas y productos.

4.3. INFRAESTRUCTURA Y OTRAS NECESIDADES AFINES

Los principales centros de excelencia en ciencias de la biodiversidad de ALC cuentan con laboratorios relativamente bien equipados, además de muchos estudiantes de posgrado y algunos asociados posdoctorales. Sin embargo, hay ocasiones en que dichos laboratorios no son aprovechados al máximo, porque es muy difícil conseguir fondos para contratar técnicos bien capacitados y dar mantenimiento a los equipos. Las mayores necesidades de infraestructura son: los costosos equipos de vanguardia automatizados para el registro de grandes cantidades de variables ambientales en estaciones de campo permanentes; el aumento de la capacidad de cómputo; la capacidad de generación y el procesamiento digital de imágenes de alta resolución; los equipos de almacenamiento de materiales para los análisis genéticos/genómicos, lo que incluye ultracongeladores para especímenes de plumas, tejidos o sangre; los contratos con grandes proveedores de datos climáticos y satelitales; los equipos y reactivos necesarios para el análisis molecular; y la constante actualización de los sistemas de información geográfica (GIS). Se ha detectado una tendencia, por parte de los grupos de investigación individuales, a instalar costosos equipos de monitoreo sin averiguar previamente lo que se está haciendo en países vecinos. Existe la enorme necesidad de desarrollar una red de estaciones que permita evaluar los efectos de largo plazo del cambio climático sobre la biodiversidad, pero esto debe ser un esfuerzo regional y contar, igualmente, con financiamiento regional por parte de instituciones como la OEA, tal como se hace en Europa. En el largo plazo, la mayoría de los esfuerzos poco sistemáticos están destinados al fracaso.

5. RECOMENDACIONES PARA FINANCIAR EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA BIODIVERSIDAD

El plan científico esbozado anteriormente abarca un conjunto de proyectos intervencionales, pero independientes, que pueden iniciarse simultáneamente o en tándem. Quizá se piense que el programa es ambicioso, y lo es. Nuestra estrategia ha sido la de cubrir gran cantidad de terreno relevante y, por lo tanto, de oportunidades, en la esperanza de que se lleve a cabo al menos 50% de la investigación. Para la materialización de algunos proyectos, las necesidades no van más allá de realizar dos o tres talleres, a fin de trabajar en los datos existentes en la literatura (p. ej., investigación filogenética molecular). Otros casos implican grandes costos de infraestructura, equipamiento, viajes y personal (estudiantes y asociados posdoctorales).

Es raro que los programas del tipo aquí sugeridos empiecen en ceros, pues por lo general se basan en financiamientos, infraestructuras y contactos ya existentes. Sin embargo, dado que la investigación aquí propuesta aumentará en alcance y escala, y con frecuencia llevará a las instituciones más allá de las fronteras de sus propios países, no bastará con el financiamiento existente.

Los programas de investigación realizados por grupos de científicos de más de un país de ALC son intrínsecamente difíciles de financiar para los consejos nacionales de ciencias de América Latina (CONICYT, CONACYT, CNPq). Las propuestas que reciben apoyo más fácilmente son los talleres, las reuniones científicas y los programas de capacitación de corto plazo en países desarrollados. No es fácil conseguir financiamiento para equipos que deben ser instalados fuera del país de origen de los fondos. Sin embargo, los grandes institutos de investigación de América Latina cuentan a veces con recursos que pueden usarse como fondo complementario para

solicitar subvenciones internacionales. Conviene instar a los estudiantes de posgrado y a los investigadores de nivel posdoctoral de otros países a que soliciten becas de investigación y puestos, respectivamente, en los concursos nacionales de algunos países de ALC. Otras posibles fuentes de financiamiento en la región son el IAI y la OEA. Sería útil establecer contacto formal con redes de capacitación como la Red Latinoamericana de Botánica (RLB), así como el programa como CYTED.

Algunas fundaciones privadas estadounidenses (p. ej., The John D. and Catherine T. MacArthur Foundation, The Rockefeller Foundation, The William and Flora Hewlett Foundation, Pew Research Center, The Bill & Melinda Gates Foundation, y The Christensen Fund) pudieran interesarse en ciertas partes del programa, dado que éste daría gran impulso al desarrollo de las ciencias integradoras en América Latina en beneficio de la sociedad, al tiempo que haría hincapié en la extensión, el intercambio de datos y la informática. También es probable que existan fundaciones análogas en Europa.

También el sector privado pudiera o debiera interesarse en ciertos aspectos del Programa de Investigación de la Biodiversidad; por ejemplo, Microsoft (informática y comunicaciones) y la industria farmacéutica. Es probable que algunas investigaciones requieran la participación de grandes instituciones botánicas, como el Missouri Botanical Garden o el Royal Botanical Garden de Kew, Inglaterra.

El papel del ICSU será fundamental para la recaudación de fondos. Una buena estrategia sería que esta institución convenciera a los consejos nacionales de ciencias de ALC para que financiaran conjuntamente partes del programa. Es de suponer que ICSU y su asociado, DIVERSITAS, están mejor posicionados para lograrlo que cualquier institución latinoamericana, para no hablar del investigador individual de las instituciones de la región. DIVERSITAS podría hacer mucho para ayudar a incorporar a los países más chicos, en particular a los de El Caribe, si llevara a cabo algunos de sus talleres en dichos países y luego los proyectara hacia grupos de investigación emergentes.

Dependiendo de la estrategia de financiamiento que adopte el ICSU, el Programa de Investigación de la Biodiversidad del ICSU-ALC no contempla la instalación de

una gran oficina central ni el mantenimiento de un numeroso personal de apoyo. En su lugar, lo que el programa necesita es de dos o tres científicos de primer nivel que lo manejen y supervisen; establecer reglas de licitación u otros mecanismos para reclutar investigadores; asegurarse de que el proceso de licitación sea transparente; y establecer criterios para los informes técnicos y financieros. Este equipo de científicos debe estar en contacto directo con la oficina del ICSU-ALC. Suponiendo que la recaudación de fondos fuera encabezada por el ICSU, y que la oficina de ICSU-ALC se encargara de administrar y enviar los fondos a cada grupo de investigación, quizá bastaría con un puesto de tiempo completo a nivel posdoctoral y el apoyo de un asistente administrativo de medio tiempo, para coordinar el programa.

Otra alternativa sería que una de las principales instituciones académicas de ALC dotadas de la capacidad y la experiencia jurídica necesarias para manejar y transferir fondos extranjeros, administrara y rindiera cuentas de los fondos mediante el cobro, en este caso, de los costos directos para cubrir sus gastos administrativos, incluyendo el personal necesario. Algunos institutos mayores de ALC que se dedican al estudio de la biodiversidad están constituidos como organismos sin fines de lucro, lo cual les confiere el tipo de flexibilidad administrativa que un programa de este tipo necesita.

Se estima que el costo de poner en marcha el Programa de Investigación de la Biodiversidad completo, suponiendo que algunas contribuciones homólogas provinieran de las instituciones participantes, oscilaría en alrededor de tres millones de dólares anuales. Insistimos, para concluir, que un costo de esta magnitud resultaría modesto, dado el valor de la incomparable biodiversidad de ALC y sus repercusiones como capital natural; su gran potencial de beneficio para todos los habitantes de la región —y del mundo— y los formidables impactos antropogénicos que dicha biodiversidad afronta, ahora, y de cara al futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarzúa, A. M. y P. I. Moreno. 2008. Changing fire regimes in the temperate rainforest region of southern Chile over the last 16 000 yr. *Quaternary Research* 69:62-71.
- Achilli, A., U. A. Perego, C. M. Bravi, M. D. Coble, Q.-P. Kong, S. R. Woodward, A. Salas, A. Torroni, y H.-J. Bandelt. 2008. The phylogeny of the four Pan-American mtDNA haplogroups: Implications for evolutionary and disease studies. *PLoS ONE* 3:doi:10.1371/journal.pone.0001764.
- Aguirre, A. y R. Dirzo. 2008. Effects of fragmentation on pollinator abundance and fruit set of an abundant understory palm in a Mexican tropical forest. *Biological Conservation* 141:375-384.
- Aizen, M. A. y C. Ezcurra. 1998. High incidence of plant-animal mutualisms in the woody flora of the temperate forest of southern South America: Biogeographical origin and present ecological significance. *Ecología Austral* 8:217-236.
- Aizen, M. A., C. L. Morales, y J. M. Morales. 2008. Invasive mutualists erode native pollination webs. *PLoS Biol* 6:doi:10.1371/journal.pbio.0060031.
- Aizen, M. A. y D. P. Vázquez. 2006. Flowering phenologies of hummingbird plants from the temperate forest of southern South America: Is there evidence of competitive displacement? *Ecography* 29: 357-366.
- Alho, C. J. R. 2005. The Pantanal. Páginas 203-271 en L. H. Fraser y P. A. Keddy, editores. *The World's Largest Wetlands*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Amaral, A. C. Z. y S. Jablonski. 2005. Conservation of marine and coastal biodiversity in Brazil. *Conservation Biology* 19:625-631.
- Anderson, A. B. y D. A. Posey. 1989. Management of a tropical scrub savanna by the Gorotire Kayapó of Brazil. *Advances in Economy Botany* 7:159-173.

- Anderson, C. B., R. Rozzi, J. C. Torres-Mura, S. M. McGehee, M. F. Sherriffs, E. Schuttler, y A. D. Rosemond. 2006. Exotic vertebrate fauna in the remote and pristine sub-Antarctic Cape Horn Archipelago, Chile. *Biodiversity and Conservation* 15:3295-3313.
- Araya-Vergara, J. 2007. Ocean coasts and continental shelves. Páginas 249-261 en T. T. Veblen, K. R. Young, y A. R. Orme, editores. *The Physical Geography of South America*. Oxford University Press, Nueva York.
- Armesto, J. J. y R. Rozzi. 1989. Seed dispersal in the rain forest of Chiloé: Evidence for the importance of biotic dispersal in a temperate forest. *Journal of Biogeography* 16:219-226.
- Armesto, J. J., R. Rozzi, C. Smith-Ramírez, y M. T. K. Arroyo. 1998. Conservation targets in South American temperate forests. *Science* 282:1271-1272.
- Arroyo, M. T. K., J. J. Armesto, y C. Villagrán. 1981. Plant phenological patterns in the high Andean Cordillera of Central Chile. *Journal of Ecology* 69:205-233.
- Arroyo, M. T. K., J. J. Armesto, F. A. Squeo, y J. R. Gutiérrez. 1993. Global change: Flora and vegetation of Chile. Páginas 239-263 en H. A. Mooney, E. R. Fuentes, y B. I. Kronberg, editores. *Earth System Responses to Global Change: Contrasts between North and South America*. Academic Press, San Diego.
- Arroyo, M. T. K. y L. A. Cavieres. 1997. The mediterranean-type climate flora of central Chile-What do we know and how can we assure its protection. *Noticiero de Biología* 5:48-56.
- Arroyo, M. T. K., L. E. Dudley, P. Plischoff, L. A. Cavieres, F. A. Squeo, C. Marticorena, y R. Rozzi: accepted. A possible correlation between the altitudinal and latitudinal ranges of species in the high elevation flora of the Andes. Páginas 29-38 en E. M. Spehn y C. Körner, editores. *Data Mining for Global Trends in Mountain Biodiversity*. CRC Press, Taylor and Francis, Boca Raton.
- Arroyo, M. T. K., C. Marticorena, O. Matthei, y L. Cavieres. 2000. Plant invasions in Chile: Present patterns and future predictions. Páginas 385-421 en H. A. Mooney y R. Hobbs, editores. *Invasive Species in a Changing World*. Island Press, Nueva York.
- Arroyo, M. T. K., C. Marticorena, O. Matthei, M. Muñoz, y P. Pliskoff. 2002. Analysis of the contribution and efficiency of the Santuario de la Naturaleza Yerba Loca, 33°S in protecting the vascular plant flora (Metropolitan and Fifth Regions of Chile). *Revista Chilena de Historia Natural* 75:767-792.
- Arroyo, M. T. K., O. Matthei, M. Muñoz-Schick, J. J. Armesto, P. Plischoff, F. Pérez, y C. Marticorena. 2005. Flora de cuatro reservas nacionales en la Cordillera de la Costa, 35°36'S,

- VII Región, Chile y su papel en la protección de la biodiversidad regional. Páginas 225-235 en C. Smith, J. J. Armesto, y C. Valdovinos, editores. *Historia, Biodiversidad y Ecología de los Bosques Costeros de Chile*. Editorial Universitaria, Santiago.
- Arroyo, M. T. K., M. Mihoc, P. Plischoff, y M. Arroyo-Kalin. 2005. The Magellanic moorland. Páginas 424-445 en L. Fraser y P. Keddy, editores. *The World's Largest Wetlands*. Cambridge University Press, Cambridge
- Arroyo, M. T. K., R. Primack, y J. J. Armesto. 1982. Community studies in pollination ecology in the high temperate Andes of Central Chile. I. Pollination mechanisms and altitudinal variation. *American Journal of Botany* 69 (1):82-97.
- Arroyo, M. T. K., M. Riveros, A. Peñaloza, L. A. Cavieres, y A. M. Faggi. 1996. Phytogeographic relationships and regional richness patterns of the cool temperate rainforest flora of southern South America. Páginas 134-172 en R. G. Lawford, P. B. Alaback, y E. Fuentes, editores. *High-Latitude Rainforests and Associated Ecosystems of the West Coasts of the Americas. Climate, Hydrology, Ecology and Conservation*. Springer-Verlag, Nueva York.
- Arroyo, M. T. K., D. Rougier, F. Pérez, P. Plischoff, y K. Bull. 2003. La flora de Chile central y su protección: antecedentes y prioridades para el establecimiento del Jardín Botánico Chagual. *Chagual* 1:31-40.
- Arroyo, M. T. K., R. Rozzi, J. A. Simonetti, P. Marquet, y M. Salaberry. 1999. Central Chile. Páginas 161-171 en R. A. Mittermeier, N. Myers, P. Robles Gil, y C. Goettsch Mittermeier, editores. *Hotspots: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. CEMEX, México.
- Arroyo, M. T. K., F. A. Squeo, J. J. Armesto, y C. Villagrán. 1988. Effects of aridity on plant diversity in the northern Chile Andes: Results of a natural experiment. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 75:55-78.
- Arroyo, M. T. K. y F. A. Squeo. 1990. Relationship between plant breeding systems and pollination. Páginas 205-227 en S. Kawano, editor. *Biological Approaches and Evolutionary Trends in Plants*. Academic Press, Londres.
- Bakun, A. 1993. The California Current, Benguela Current, and Southwestern Atlantic Shelf Ecosystems: A comparative approach to identifying factors regulating biomass yields. Páginas 199-221 en K. Sherman, L. M. Alexander, y B. D. Gold, editores. *Large Marine Ecosystems: Stress Mitigation, and Sustainability*. American Association for the Advancement of Science, Washington DC.

- Balmford, A., A. Bruner, P. Cooper, R. Costanza, S. Farber, R. E. Green, M. Jenkins, P. Jefferiss, V. Jessamy, J. Madden, K. Munro, N. Myers, S. Naeem, J. Paavola, M. Rayment, S. Rosendo, J. Roughgarden, K. Trumper, y R. K. Turner. 2002. Economic reasons for conserving wild nature. *Science* 297:950-995.
- Barthlott, W., N. Biedinger, G. Braun, F. Feig, G. Kier, y J. Mutke. 1999. Terminological and methodological aspects of the mapping and analysis of global biodiversity. *Acta Botanica Fennica* 162:103-110.
- Batalha, M. A. y W. Mantovani. 2000. Reproductive phenological patterns of cerrado plant species at the Pé-de-Gigante Reserve (Santa Rita do Passa Quatro, SP, Brazil): A comparison between the herbaceous and the woody floras. *Brazilian Journal of Biology* 60:129-145.
- Bawa, K. S. 1974. Breeding systems of tree species on a lowland tropical community. *Evolution* 28:85-92.
- Becerra, J. 2005. Timing the origin and expansion of the Mexican tropical dry forest. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102:10919-10923.
- Berggren, W. A. y C. D. Hollister. 1974. Paleogeography, paleobiogeography and the history of circulation in the Atlantic Ocean. Páginas 126-186 en W. W. Hay, editor. *Studies in Paleo-oceanography*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication No. 20:126-186.
- Berkes, F., J. Colding, y C. Folke. 2000. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. *Ecological Applications* 10:1251-1262.
- Betancourt, J. L., C. Latorre, J.A. Rech, J. Quade, y K.A. Rylander. 2000. A 22,000-year record of monsoonal precipitation from northern Chile's Atacama Desert. *Science* 289:1542-1546.
- Bonaccorso, R., I. Koch, y A. T. Peterson. 2006. Pleistocene fragmentation of Amazon species' ranges. *Diversity and Distributions* 12:157-164.
- Bóo, R. M., D. V. Peláez, S.C. Bunting, M. D. Mayor, y O. R. Elía. 1997. Effect of fire on woody species in central semi-arid Argentina. *Journal of Arid Environments* 35:87-94.
- Brosi, B. J., G. C. Daily, y P. R. Ehrlich. 2007. Bee community shifts with landscape context in a tropical countryside. *Ecological Applications* 17:418-430.
- Brosi, B. J., G. C. Daily, T. M. Shih, F. Oviedo, y G. Duran. 2008. The effects of forest fragmentation on bee communities in tropical countryside. *Journal of Applied Ecology* 45:773-783.
- Bryant, D., D. Nielsen, y L. Tangle. 1997. The last frontier forests: Ecosystems and economies on the edge. World Resources Institute, Washington DC.

- Burger, J. C., M. A. Chapman, y J. M. Burke. 2008. Molecular insights into the evolution of crop plants. *American Journal of Botany* 95:113-122.
- Burnham, R. J. y A. Graham. 1999. The history of Neotropical vegetation: New developments and status. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 2:546-589.
- Bustamante, M. M. C., E. Medina, G. P. Asner, G. B. Nardoto, y D. C. Garcia-Montiel. 2006. Nitrogen cycling in tropical and temperate savannas. *Biogeochemistry* 79:209-237.
- Bustamante, R. O. y J. A. Simonetti. 2005. Is *Pinus radiata* invading the native vegetation in Central Chile?: Demographic responses in a fragmented forest. *Biological Invasions* 7:243-249.
- Buytaert, W., R. Céleri, B. de Biéve, F. Cisneros, G. Wyseure, J. Deckers, y R. Hofstede. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* 79:53-72.
- Cárdenas, L. 2007. *Dispersal and genetic population in Concholepas concholepas (Bruguiera, 1789): Effects of historical and contemporary events*. Universidad Católica de Chile, Chile.
- Cárdenas, L., C. Daguin, J. C. Castilla, y F. Viard. 2007. Isolation and characterization of 11 polymorphic microsatellite markers for the marine gastropod *Concholepas concholepas* (Bruguiera, 1789). *Molecular Ecology* 7:464-466.
- Cardoso, S. R. S., J. Provan, C. F. Lira, L. O. R. Pereira, P. C. G. Ferreira, y M. A. Cardoso. 2005. *Biodiversity and Conservation* 14:1047-1057.
- Carlton, J. T. y J. B. Geller. 1993. Ecological roulette- the global transport of non-indigenous marine organisms. *Science* 261:78-82.
- Castilla, J. C. 1997. Chilean resources of benthic invertebrates: Fishery, collapses, stock rebuilding and the role of coastal management areas and National Parks. Páginas 130-135 en D. A. Hancock, D. C. Smith, y J. P. Beume, editores. *Developing and Sustaining World Fisheries Resources*. CSIRO, Australia.
- Castilla, J. C. 2005. Un ensayo sobre ecosistemas, servicios, biodiversidad y bienestar humano, en el ámbito marino y aproximaciones hacia valorizaciones económicas. Páginas 571-581 en E. Figueroa, editor. *Biodiversidad Marina: Valorización, Uso y Perspectivas*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Castilla, J. C. y O. Defeo 2005. Paradigm shift needed for world fisheries. *Science* 309: 1324-1325.
- Castilla, J. C., M. Campo, y R. H. Bustamante. 2007. Recovery of *Durvillaea antarctica* (Durvillaeales) inside and outside Las Cruces Reserve, Chile. *Ecological Applications* 17:1511-1522.

- Castilla, J. C. y M. Fernández. 1998. Small-scale benthic fisheries in Chile: On co-management and sustainable use of benthic invertebrates. *Ecological Applications* 8:124-132.
- Castilla, J. C. y J. L. Largier. 2002. *The Oceanography and Ecology of the Nearshore and Bays in Chile*. Ediciones Universidad Católica de Chile, Chile.
- Castilla, J. C. y E. Nealler. 1978. Marine environmental impacts due to mining activities of El Salvador copper mine. *Marine Pollution Bulletin* 9:67-70.
- Castilla, J. C. y P. Neill: in press. Marine bioinvasions in the Southeastern Pacific: Status, ecology, economic impacts, conservation and management. Páginas 439-457 en G. Rilov y J. Crooks, editores. *Marine Bioinvasions: Ecology, Conservation, and Management Perspectives*. Springer Verlag, Berlín, Alemania.
- Castro, M., C. Villagrán, y M. T. K. Arroyo. 1982. Estudio etnobotánico en la pre-Cordillera y altiplano de los Andes de Arica (18-19°S). Páginas 133-205 en A. Veloso y E. Bustos, editores. *El Ambiente Natural y las Poblaciones Humanas de los Andes del Norte Grande de Chile* (Arica, Lat. 18°28'S). Rostlac, Montevideo.
- Cavalcanti, R. y C. Joly. 2002. The conservation of the Cerrados. Páginas 351-367 en P. S. Oliveira y R. J. Marquis, editores. *The Cerrado of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Columbia University Press, Nueva York.
- Cavieres, L. A., M. T. K. Arroyo, P. Posadas, C. Marticorena, O. Matthei, R. Rodríguez, F. A. Squeo, y G. Arancio. 2002. Identification of priority areas for conservation in an arid zone: Application of parsimony analysis of endemism in the vascular flora of the Antofagasta region, northern Chile. *Biodiversity and Conservation* 11:1301-1311.
- Cavieres, L. A., E. I. Badano, A. Sierra-Almeida, y M. A. Molina-Montenegro. 2007. Microclimatic modifications of cushion plants and their consequences for seedling survival of native and non-native herbaceous species in the high Andes of central Chile. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 39:229-236.
- Cavieres, L. A., C. L. Quiroz, M. A. Molina-Montenegro, A. A. Muñoz, y A. Pauchard. 2005. Nurse effect of the native cushion plant *Azorella monantha* on the invasive non-native *Taraxacum officinale* in the high Andes of central Chile. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 7:217-226.
- Ceballos, G. 2007. Conservation priorities for mammals in megadiverse Mexico: The efficiency of reserve networks. *Ecological Applications* 17:569-578.

- Chacoff, N. P. y M. A. Aizen. 2006. Edge effects on flower-visiting insects in grapefruit plantations bordering premontane subtropical forest. *Journal of Applied Ecology* 43:18-27.
- Chatwin, A., editor. 2007. *Priorities for Coastal and Marine Conservation in South America*. The Nature Conservancy, Arlington, Virginia.
- Chaunu, P. 1969. *Conquête et exploitation des nouveaux mondes. XVIe siècle*, París.
- Chevalier, P., E. Gutiérrez, D. Ibarzabal, S. Romero, V. Isla, J. Calderín, y E. Hernández. 2008. Primer registro de *Pterois volitans* (Pisces: Scorpaenidae) para aguas cubanas. *Solenodón* 7:37-40.
- CI. 2007. Conservation International. Biodiversity hotspots: Atlantic Forest. (http://www.biodiversityhotspots.org/xp/Hotspots/atlantic_forest/Pages/conservation.aspx).
- Clare, E., K. M. Burton, M. D. Engstrom, J. L. Eger, y P. D. N. Hebert. 2007. DNA barcoding of Neotropical bats: Species identification and discovery within Guyana. *Molecular Ecology Notes* 7:84-190.
- Claro, R. 2007. *La Biodiversidad Marina de Cuba* (CD-ROM). Instituto de Oceanología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, Cuba.
- Colombo, A. F. 2007. *Consequências potenciais das mudanças climáticas globais para espécies arbóreas de Mata Atlântica*. UNICAMP.
- Colón, C. 1977. *Los cuatro viajes del Almirante y su testamento*. Editorial Espasa-Calpe, Madrid.
- CONABIO-CONANP-TNC-PRONATURA. 2007. *Vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, México.
- Constanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, y M. van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Contreras, L., M. H. Medina, S. Andrade, V. Oppliger, y J.A. Correa. 2007. Effects of copper on early developmental stages of *Lessonia nigrescens* Bory (Phaeophyceae). *Environmental Pollution* 145:75-83.
- Cook, L. G. y M. D. Crisp. 2005. Not so ancient: The extant crown group of *Nothofagus* represents a post-Gondwanan radiation. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 272:2535-2544.

- Coutinho, L. M. 1978. Aspectos ecológicos do fogo no cerrado I: A temperatura do solo durante as queimadas. *Revista Brasileira de Botanica* 1(2):93-96.
- Couto, E. C. G., F. L. Da Silveira, y G. R. A. Rocha. 2003. Marine biodiversity in Brazil: The current status. *Gayana* 67:327-340.
- Crisci, J. V. 1998. El cladismo y la biogeografía histórica. Monographs in Systematic Botany of the Missouri Botanical Garden. *Proceedings of the VI Congreso Latinoamericano de Botanica* 68:459-463.
- Crisci, J. V., L. Katinas, y P. Posadas. 2000. *Introducción a la Teoría y Práctica de la Biogeografía Histórica*. Sociedad Argentina de Botanica, Buenos Aires, Argentina.
- Da Silva, J. M. C. y D. C. Oren. 1996. Application of Parsimony Analysis of Endemicity in Amazonian Biogeography - an example with primates. *Biological Journal of the Linnean Society* 59:427-437.
- Da Silva, A. C. R., J.A. Ferro, F. C. Reinach, C. S. Farah, L. R. Furlan, R. B. Quaggio, C. B. Monteiro-Vitorello, M. A. Van Sluys, N. F. Almeida Jr., y L. M. C. Alves. 2002. Comparison of the genomes of two *Xanthomonas* pathogens with differing host specificities. *Nature* 417:459-463.
- De Marco, P. y F. M. Coelho. 2004. Services performed by the ecosystem: Forest remnants influence agricultural cultures' pollination and production. *Biodiversity and Conservation* 13:1245-1255.
- De Vivo, M. y A. P. Carmignotto. 2004. Holocene vegetation change and the mammal faunas of South America and Africa. *Journal of Biogeography* 31:943-957.
- Defeo, O. y J. C. Castilla. 2005. More than one bag for the fishery crisis and keys for co-management successes in selected Latin American shell fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 15:265-283.
- Denevan, W. M. 2007. Pre-European human impacts on tropical lowland environments. Páginas 265-278 en T. T. Veblen, K. R. Young, y A. R. Orme, editores. *The Physical Geography of South America*. Oxford University Press, Nueva York.
- Dewald, J. 2004. Europe, 1450 to 1789. Página 3232 en *Encyclopedia of the Early Modern World*. Charles Scribner's Sons, Nueva York.
- Diamond, J. 1999. *Guns, Germs, and Steel: The Fates of Human Societies*. W. W. Norton & Company, Nueva York.

- Díaz, S. y M. Cabido. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science* 8:463-474.
- Díaz, S. y M. Cabido. 2001. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution* 16:646-655.
- Dillehay, T. D. y M. Collins. 1988. Early cultural evidence from Monte Verde in Chile. *Nature* 332:150-152.
- Dillehay, T. D., J. Rossen, T. C. Andres, y D. E. Williams. 2007. Preceramic adoption of peanut, squash, and cotton in northern Peru. *Science* 316:1890-1893.
- Dirzo, R. 1994. *Diversidad de la Flora Mexicana*. CEMEX y Agrupación Sierra Madre, México.
- Dirzo, R. 2001. Plant-mammal interactions: lessons for our understanding of nature, and implications for biodiversity conservation. Páginas 319-335 en N. J. Huntly y S. Levin, editores. *Ecology: Achievement and Challenge*. Blackwell, Londres.
- Dirzo, R. y E. Mendoza. 2008. Biodiversity. En Sven Erik Jørgensen y Brian D. Fath (editores), *General Ecology*. Vol. [1] of *Encyclopedia of Ecology*, 5 vols. pp. [368-377] Oxford: Elsevier.
- Dirzo, R. y A. Miranda. 1991. Altered patterns of herbivory and diversity in the forest understorey: A case study of the possible consequences of contemporary defaunation. Páginas 273-287 en P. W. Price, T. M. Lewinsohn, G. W. Fernandes, and W. W. Benson, editores. *Plant-Animal Interactions: Evolutionary Ecology in Tropical and Temperate Regions*. Wiley and Sons Publishers, Nueva York.
- Dirzo, R. y P. Raven. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of the Environment and Resources* 28:137-167.
- Donoso, C., A. Premoli, L. Gallo, y R. Ipinza, editores. 2004. *Variación intraespecífica en las especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina*. Editorial Universitaria, Santiago, Chile.
- Duarte, C. M., N. Marba, y M. Holmer. 2007. Rapid domestication of marine species. *Science* 316:382-383.
- Dutra, G. F., G. R. Allen, y T. Werner. 2005. A Rapid Marine Biodiversity Assessment of the Abrolhos Bank, Bahia, Brazil. *RAP Bulletin of Biological Assessment*.
- Elmer, K. R., J. A. Dávila, y S. C. Loughheed. 2007. Cryptic diversity and deep divergence in an upper Amazonian leaf litter frog, *Eleutherodactylus ockendeni*. *BMC Evolutionary Biology* 7:247.

- Escobedo, P. J., J. E. Wagner, D. J. Nowak, C. L. de la Maza, M. Rodríguez, y D. E. Crane. 2008. Analyzing the cost effectiveness of Santiago, Chile's policy of using urban forests to improve air quality. *Journal of Environmental Management* 86:148-157.
- FAO. 2005. *Global Forests Resources Assessment 2005*. FAO, Italia.
- FAO. 2007. *Statistical Yearbook 2005-2006*. FAO, Italia.
- Fearnside, P. M. 2008. Amazon forest maintenance as a source of environmental services. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias* 80:101-114.
- Ferreira de Siqueira, M. y A. T. Peterson. 2003. Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado forest trees. *Biota Neotropica*, Vol. 3 (Number 2), (www.biotaneotropica.org.br/v3n2/pt/).
- Folgarait, P. J., O. Bruzzone, y L. Gilbert. 2003. Seasonal patterns of activity among species of black fire ant parasitoid flies (*Pseudacteon*: Phoridae) in Argentina explained by analysis of climatic variables. *Biological Control* 28:368-378.
- Gajardo, G., J. M. Cancino, y J. M. Navarro. 2002 Genetic variation and population structure in the marine snail *Chorus giganteus* (Gastropod: Muricidae), an overexploited endemic resource from Chile. *Fisheries Research* 55:329-333.
- Galetti, M. y A. Aleixo. 1998. Effects of palm heart harvesting on avian frugivores in the Atlantic rain forest of Brazil. *Journal of Applied Ecology* 35:286-293.
- Galetti, M. y M. A. Pizo. 1996. Fruit eating birds in a forest fragment in southeastern Brazil. *Ararajuba* 4:71-79.
- Gallardo, V. A. 1997. Large benthic microbial communities in sulphide biota under Peru-Chile subsurface countercurrent. *Nature* 268:331-332.
- Gallardo, V. A. y C. Espinoza. 2006. Los microorganismos de sedimentos bajo la zona de mínimo oxígeno: análogos de océanos precámbricos? *Gayana* 70:22-25.
- Garcia, I. S., A. Souza, C. J. Barbedo, S. M. C. Dietrich, y R. C. L. Figueiredo-Ribeiro. 2006. Changes in soluble carbohydrates during storage of seeds of *Caesalpinia echinata* Lam. (Brazilwood), an endangered Leguminous tree from the Brazilian Atlantic Forest. *Brazil Journal of Biology* 66:739-745.
- Garreaud, R. D. y P. Aceituno. 2007. Atmospheric circulation and climate variability. Páginas 45-59 en T. T. Veblen, K. R. Young, y A.R. Orme, editores. *The Physical Geography of South America*. Oxford University Press, Nueva York.
- Gelcich, S., M. J. Kaiser, J. C. Castilla, y G. Edwards-Jones. 2008. Engagement in co-manage-

- ment of marine benthic resources influences environmental perceptions of artisanal fishers. *Environmental Conservation* 35:36-45.
- Giulietti, A. M., R. M. Harley, L. P. de Quiroz, M. G. L. Wanderley, y C. Van de Berg. 2005a. Biodiversidad e conservação das plantas no Brasil. *Megadiversidade* 1:52-61.
- Giulietti, A. M., R.M. Harley, L. P. de Quiroz, M. G. L. Wanderley, y C. Van de Berg. 2005b. Biodiversity and conservation of plants in Brazil. *Conservation Biology* 19:632-639.
- Giulietti, A. M., J. R. Pirani, y R. M. Harley. 1997. Espinhaço Range Region, Eastern Brazil. Páginas 397-404 en S. D. Davis, editor. *Centres of Plant Diversity: A Guide and Strategy for their Conservation*. World Wildlife Fund y World Conservation Union.
- Gomez-Mendoza, L. y L. Arriaga. 2007. Modeling the effect of climate change on the distribution of oak and pine species of Mexico. *Conservation Biology* 21:1545-1555.
- Gonzalez, V. H. y M. S. Engel. 2004. The tropical Andean bee fauna (Insecta: Hymenoptera: Apoidea) with examples from Colombia. *Entomologische Abhandlungen* 62:65-75.
- Gonzalez-Rodriguez, E., J. L. Valentin, D. L. André, y S. A. Jacob. 1992. Upwelling and downwelling at Cabo Frio (Brazil): Comparison of biomass and primary production responses. *Journal of Plankton Research* 14:289-306.
- Graham, A. 1999. The Tertiary history of the northern temperate element in the northern Latin American biota. *American Journal of Botany* 86:32-38.
- Groombridge, B. 1992. *Global Biodiversity: Status of the Earth's Living Resources*. Chapman & Hall, Londres.
- Guevara, J. C., C. R. Stasi, C. F. Wuilloud, y O. R. Estévez. 1999. Effects of fire on rangeland vegetation in south-western Mendoza plains (Argentina): Composition, frequency, biomass, productivity and carrying capacity. *Journal of Arid Environments* 41:27-35.
- Gutiérrez, J. R., M. Holmgren, R. Manrique, y F. A. Squeo. 2007. Reduced herbivore pressure under rainy ENSO conditions could facilitate dryland reforestation. *Journal of Arid Environments* 68:322-330.
- Haczewski, G. 1976. Sedimentological reconnaissance of the San Cayetano Formation. An accumulative continental margin in the Jurassic. *Acta Geológica Polonica* 26:331-353.
- Hartley, A. J., G. Chong, J. Houston, y A. E. Mather. 2005. 150 million years of climatic stability: Evidence from the Atacama Desert, northern Chile. *Journal of the Geological Society* 162:421-424.

- Harvell, C. D., C. E. Mitchell, J. R. Ward, S. Altizer, A. P. Dobson, R. S. Ostfeld, y M. D. Samuel. 2002. Climate warming and disease risks for terrestrial and marine Biota. *Science* 296:2158-2162.
- Heck, C. I. y E. G. de Mejía. 2007. Yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*): A comprehensive review on chemistry, health implications, and technological considerations. *Journal of Food Science* 72:138-151.
- Heckenberger, M. J., J. C. Russell, C. Fausto, J. R. Toney, M. J. Schmidt, E. Pereira, B. Franchetto, y A. Kuikuro. 2008. Pre-Columbian urbanism, anthropogenic landscapes, and the future of the Amazon. *Science* 321:1214-1217.
- Hershkovitz, M. A., M. T. K. Arroyo, C. Bell, y L. F. Hinojosa. 2006. Phylogeny of *Chaetanthera* (Asteraceae: Mutisieae) reveals both ancient and recent origins of high elevation lineages. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 41:594-605.
- Hinojosa, L. F. y C. Villagrán. 1997. Historia de los bosques del sur de Sudamérica, I: Antecedentes paleobotánicos, geológicos y climáticos del Terciario del cono sur de América. *Revista Chilena de Historia Natural* 70:225-239.
- Hoegh-Guldberg, O. 1999. Climate change, coral bleaching and the future of the world's coral reefs. *Marine and Fresh Water Research* 50:839-866.
- Hoffmann, W. A., B. Orthens, y P. K. V. Nascimento. 2003. Comparative fire ecology of tropical savanna and forest trees. *Functional Ecology* 17:720-726.
- Hoot, S., B. Kramer, y M. T. K. Arroyo. 2008. Phylogenetic position of the South American dioecious genus *Hamadryas* and related *Ranunculeae* (Ranunculaceae). *International Journal of Plant Sciences* 169:433-443.
- Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, y D. Xiaosu. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press.
- Hubbell, S. P., H. K. Fangliang, R. Condit, L. A. Borda-de-Agua, J., y H. ter Steege. 2008. How many tree species are there in the Amazon and how many of them will go extinct? *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:11498-11504.
- Hughes, C. y R. Eastwood. 2006. Island radiation on a continental scale: Exceptional rates of plant diversification after uplift of the Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 203:10334-10339.
- Imbrozio-Barbosa, R. y P. M. Fearside. 2005. Fire frequency and area burned in the Roraima savannas of Brazilian Amazonia. *Forest Ecology and Management* 204:371-384.

- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers, 21pp. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, París.
- Iturralde-Vinent, M., editor. 2004. *Origen y evolución del Caribe y sus biotas marinas y terrestres*. [CDROM] Editora Centro Nacional de Información Geológica, La Havana.
- IUCN. 2000. Guidelines for the prevention of biodiversity loss caused by alien invasive species. International Union for the Conservation of Nature - World Conservation Union, Gland, Switzerland.
- IUCN. 2006. Red List of Threatened Species. (www.redlist.org).
- IUCN. 2007. Red List of Threatened Species, disponible en: www.iucnredlist.org.
- IUCN y WCPA. 2008. Global protected transboundary areas network, disponible en: www.tbpa.net/case_10.htm.
- Jackson, J., A. F. Budd, y A. G. Coates, editores. 1996. *Evolution and Environments in Tropical America*. University of Chicago Press, Chicago.
- Jackson, J. B. C., M. X. Kirby, W. H. Berger, K. A. Bjorndal, L. W. Botsford, B. J. Bourque, R. H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J. A. Estes, T. P. Hughes, S. Kidwell, C. B. Lange, H. S. Lenihan, J. M. Pandolfi, C. H. Peterson, R. S. Steneck, M. J. Tegner, y R. R. Warner. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293:629-637.
- Janzen, D. H., W. Hallwachs, J. A. Jiménez Ramón, y R. Gámez. 1993. The role of the parataxonomists, inventory managers, and taxonomists in Costa Rica's national biodiversity inventory. Páginas 223-254 en: W. V. Reid, S. A. Laird, C. A. Meyer, R. Gámez, A. Sittenfeld, D. H. Janzen, M. A. Gollin, y C. Juma, editores. *Biodiversity Prospecting: Using Genetic Resources for Sustainable Development*. World Resources Institute, Washington DC.
- Jordano, P. 1987. Patterns of mutualistic interacciones in pollination and seed dispersal: Connectance, dependence asymmetries and coevolution. *American Naturalist* 129:657-677.
- Jørgensen, P. M. y S. León-Yáñez, editores. 1999. *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*. Monographs in Systematic Botany of the Missouri Botanical Garden. 75: i-viii, 1-1182.
- Josse, C., G. Navarro, P. Comer, R. Evans, D. Faber-Langendoen, M. Fellow, G. Kittel, S. Menard, M. Pyne, M. Reid, K. Schulz, K. Snow, y J. Teague. 2003. *Ecological Systems of Latin American and the Caribbean: A Working Classification of Terrestrial Systems*. NatureServe, Arlington, Virginia. Disponible en: www.natureserve.org/publications/lacEcologicalsystems.jsp.

- Junk, W. J. y M. T. Piedade. 2005. Status of knowledge, ongoing research, and research needs in Amazonian wetlands. *Wetlands Ecology and Management* 12:597-609.
- Kaiser, J. 2001. Bold corridor project confronts political reality. *Science* 293:2196-2199.
- Kareiva, P. 2001. Latin American birds and mammals on line. *Trends in Ecology & Evolution* 16 (10):542.
- Kay, K. M., P. A. Reeves, R. G. Olmstead, y D. W. Schemske. 2005. Rapid speciation and the evolution of hummingbird pollination in neotropical *Costus* subgenus *Costus* (Costaceae): Evidence from nrDNA ITS and ETS sequences. *American Journal of Botany* 92:1899-1910.
- Körner, C., M. Donoghue, T. Fabbro, C. Häuser, D. Nogués-Bravo, M. T. K. Arroyo, J. Soberon, L. Speers, E. M. Spehn, H. Sun, A. Tribsch, P. Tykarski. y N. Zbinden. 2007. Creative use of mountain biodiversity databases: The Kazbegi Research Agenda of GMBA-DIVERSITAS. *Mountain Research and Development* 27:276-281.
- Kremen, C. 2005. Managing for ecosystem services: What do we need to know about their ecology? *Ecology Letters* 8:468-479.
- Kreft, H. y W. Jetz. 2007. Global patterns and determinants of vascular plant diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104:5925-5930.
- Kronka, F. J. N., C.K. Matsukuma, M. Pavão, J.R. Guillaumon, A. C. Cavalli, E. Giannotti, M. S. S. Iwane, L. M. P. R. Lima, J. Montes, I. H. Del Cali, y P. G. Haak. 1998. *Áreas de dominio do cerrado no Estado de São Paulo*. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Instituto Forestal, São Paulo, Brasil.
- Kronka, F. J. N., M. A. Nalon, C. K. Matsukuma, M. M. Kanashiro, M. S. S. Ywane, M. Pavão, G. Durigan, L. P. R. Lima, J. R. Guillaumon, J. B. Baitello, S. C. Borgo, L. A. Manetti, A. M. F. Barradas, J. C. Fukuda, C. N. Shida, C. H. B. Monteiro, A. A. S. Pontinhas, G. G. Andrade, O. Barbosa, A. P. Soares, C. A. Joly, y H. T. Z. Couto. 2005. *Inventário florestal da Vegetação Nativa do Estado São Paulo*. Secretaria do Meio Ambiente, Instituto Florestal, São Paulo, Brasil.
- Kursar, T. A., T. L. Capson, L. Cubilla-Rios, D. A. Emmen, W. Gerwick, M. V. Heller, K. McPhail, E. Ortega-Barría, D. I. Quiros, L. I. Romero, y P. D. Coley. 2007. Linking bioprospecting with sustainable development and conservation: The Panama case. *Biodiversity and Conservation* 16:2789-2800.
- Lambais, M. R., D. E. Crowley, J. C. Cury, R. C. Bull, y R. R. Rodrigues. 2006. Bacterial diversity in tree canopies of the Atlantic Forest. *Science* 312:1917.

- Laurance, W. F. 1998. Forest fragmentation: Another perspective. *Trends in Ecology & Evolution* 13:75.
- Lee, M., J. C. Castilla, y M. Fernandez. 2008. Free-living benthic marine invertebrates in Chile. *Revista Chilena de Historia Natural* 81:51-67.
- Lenoir, J., J. C. Gégout, P. A. Marquet, P. de Ruffray, y H. Brisse. 2008. A Significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 27:1768-1771.
- Lessa, E. P., J. A. Cook, y J. L. Patton. 2003. Genetic footprints of demographic expansion in North America, but not Amazonia, during the Late Quaternary. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100:10331-10334.
- Lewinsohn, T. M. y P. I. Prado. 2005. How many species are there in Brazil? *Conservation Biology* 19:619.
- Lewinsohn, T. M., P. I. Prado, P. Jordano, J. Bascompte, y J. M. Olesen. 2006. Structure in plant-animal interaction assemblages. *Oikos* 113:174-184.
- Lewinsohn, T. M. y T. Roslin. 2008. Four ways towards tropical herbivore megadiversity. *Ecology Letters* 11:398-416.
- Ley, R. E., J. K. Harris, J. Wilcox, J. R. Spear, S. R. Miller, B. M. Bebout, J. A. Maresca, D. A. Bryant, M. L. Sogin, y N. R. Pace. 2006. Unexpected diversity and complexity of the Guerrero Negro hypersaline microbial mat. *Applied and Environmental Microbiology* 72:3685-3695.
- Lizarralde, M., J. Escobar, y G. Deferrari. 2004. Invader species in Argentina: A review about the beaver (*Castor canadensis*) population situation on Tierra del Fuego ecosystem. *Interciencia* 29:352-356.
- Lobos, G. y F. Jaksic. 2005. The ongoing invasion of African clawed frogs (*Xenopus laevis*) in Chile: Causes of concern. *Biodiversity and Conservation* 14:429-439.
- Lopetegui, E. J., R. S. Vollmann, H. C. Cifuentes, C. D. Valenzuela, N. L. Suarez, E. P. Herbach, J. U. Huepe, G. V. Jaramillo, B. P. Leischner, y R. S. Riveros. 2007. Emigration and mortality of black-necked swans (*Cygnus melancoryphus*) and disappearance of the macrophyte *Egeria densa* in a Ramsar wetland site of southern Chile. *Ambio* 36:607-9.
- López, V. y U. Krauss. 2006. *National and Regional Capacities and Experiences on Marine Invasive Species, Including Ballast Waters, Management Programmes in the Wider Caribbean Region: A Compilation of Current Information*. Final Report. CAB International Caribbean and Latin America Regional Centre (CLARC). United Nations Environment Programme.

- Loreau, M., A. Oteng-Yeboah, M. T. K. Arroyo, D. Babin, R. Barbault, M. Donoghue, M. Gadgil, C. Häuser, C. Heip, A. Larigauderie, K. Ma, G. Mace, H. A. Mooney, C. Perrings, P. Raven, J. Sarukhan, P. Schei, R. J. Scholes, y R. T. Watson. 2006. Diversity without representation. *Nature* 442:245-246.
- Luna, I., O. Alcántara, D. Espinosa, y J. J. Morrone. 1999. Historical relationships of the Mexican cloud forests: A preliminary vicariance model applying parsimony analysis of endemism to vascular plant taxa. *Journal of Biogeography* 26:1299-1305.
- Lundberg, J. G., L. G. Marshall, J. Guerrero, B. Horton, M. C. S. L. Malabarba, y F. Wesselingh. 1998. The stage for neotropical fish diversification: A history of tropical South American rivers. Páginas 13-48 en L. R. Malabarba, R. E. Reis, R. P. Vari, C. A. S. Lucena, y Z. M. S. Lucena, editores. *Phylogeny and Classification of Neotropical Fishes*. Porto Alegre: Museu de Ciencias e Tecnologia.
- Luteyn, J. L. 1999. *Páramos: A Checklist of Plant Diversity, Geographical Distribution, and Botanical Literature*. The New York Botanical Garden Press, Nueva York.
- Machado, R. B., M. B. Ramos Neto, P. G. P. Pereira, E. F. Caldas, D. A. Gonçalves, N. S. Santos, K. Tabor, y M. Steininger. 2004. *Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro*. Conservation International, Brasília, DF, Brasil.
- MacNeish, R. S. 1964. Ancient Mesoamerican civilization. *Science* 143:531-553.
- Marco, D. y S. Páez. 2002. Phenology and phylogeny of animal-dispersed plants in a Dry Chaco forest (Argentina). *Journal of Arid Environments* 52:1-16.
- Marshall, E. 2005. Taxonomy: Will DNA bar codes breathe life into classification? *Science* 307:1037.
- Marshall, L. G. y J. G. Lundberg. 1996. Technical comment: Miocene deposits in the Amazonian foreland basin. *Science* 273:123.
- Marshall, L. G. y T. Sempere. 1993. Evolution of the Neotropical Cenozoic land mammal fauna in its geochronologic, stratigraphic, and tectonic context. Páginas 329-392 en P. Goldblatt, editor. *Biological Relationships between Africa and South America*. Yale University Press, New Haven.
- Massardo, R., y Rozzi, R. 2006. *Patagonia, Chile. Naturaleza y aventura. La etnoecología más austral del planeta: artesanía y conocimiento ecológico tradicional yagán*. Reserva de Biosfera Cabo de Hornos. Gobierno de Chile, SERNATUR y Universidad de Magallanes.
- Matsuoka, Y., Y. Vigouroux, M. M. Goodman, J. Sanchez, E. Buckler, y J. Doebley. 2002. A sin-

- gle domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99:6080-6084.
- Matsuura, Y. 1998. Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*) spawning in the southeast Brazilian Bight over the period 1976-1993. *Revista Brasileira de Oceanografia* 46:33-43.
- McClanahan, T. R. 2008. Response of the coral reef benthos and herbivory to fishery closure management and the 1998 ENSO disturbance. *Oecología* 133:169-177.
- McKenney, D. W., J. H. Pedlar, K. Lawrence, K. Campbell, y M. F. Hutchinson. 2007. Potential impacts of climate change on the distribution of North American trees. *Bioscience* 57:939-948.
- McLoughlin, S. 2001. The breakup history of Gondwana and its impact on pre-Cenozoic floristic provincialism. *Australian Journal of Botany* 49:271-300.
- Medan, D., N. H. Montaldo, M. Devoto, A. Mantese, V. Vasellati, G. G. Roitman, y N. H. Bartolon. 2002. Plant-pollinator relationships at two altitudes in the Andes of Mendoza, Argentina. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 34:233-241.
- Medina E. y J. Silva J. 1990. Savannas of northern South America: A steady regulated by water-fire interactions on a background of low nutrient availability. *Journal of Biogeography* 17:403-413.
- Mendonça, R. C., J. M. Felfili, B. M. T. Walter, M. C. Silva Jr., A. V. Rezende, T. S. Filgueiras, y P. E. Oliveira, editores. 1997. *Flora Vascular do Cerrado*. EMBRAPA - Cerrados, Planaltina, Brasil.
- Meserve, P. L. 2007. Zoogeography of South America. Páginas 112-132 en T. T. Veblen, K. R. Young, y A. R. Orme, editores. *The Physical Geography of South America*. Oxford University Press, Nueva York.
- Metcalfe, S., S. L. O'Hara, M. Caballero, y S. J. Davies. 2000. Records of Late Pleistocene-Holocene climatic change in Mexico - a review. *Quaternary Science Reviews* 19:699-721.
- Mikkelsen, T. S., M. J. Wakefield, B. Aken, C. T. Amemiya, J. L. Chang, S. Duke, M. Garber, A. J. Gentles, L. Goodstadt, A. Heger, J. Jurka, M. Kamal, E. Mauceli, S. M. J. Searle, T. Sharpe, M. L. Baker, M. A. Batzer, P. V. Benos, K. Belov, M. Clamp, A. Cook, J. Cuff, R. Das, L. Davidow, J. E. Deakin, M. J. Fazzari, J. L. Glass, M. Grabherr, J. M. Grealley, W. Gu, T. A. Hore, G. A. Huttley, M. Kleber, R. L. Jirtle, E. Koina, J. T. Lee, S. Mahony, M. A. Marra, R. D. Miller, R. D. Nicholls, M. Oda, A. T. Papenfuss, Z. E. Parra, D. D. Pollock, D. A. Ray, J. E. Schein, T. P. Speed, K. Thompson, J. L. VandeBerg, C. M. Wade, J. A.

- Walker, P. D. Waters, C. Webber, J. R. Weidman, X. Xie, M. C. Zody, J. A. M. Graves, C. P. Ponting, M. Breen, P. B. Samollow, E. S. Lander, y K. Lindblad-Toh. 2007. Genome of the marsupial *Monodelphis domestica* reveals innovation in non-coding sequences. *Nature* 447:167-177.
- Miller, R. P. y P. K. R. Nair. 2006. Indigenous agroforestry systems in Amazonia. *Agroforestry Systems* 66:151-164.
- Miloslavich, P. 2008. The census of marine life in the Caribbean: A biodiversity program. *Journal of Tropical Biology* 56:71-181.
- Miloslavich, P., E. Klein, E. Yerena, y A. Martín. 2003. Marine biodiversity in Venezuela: Status and perspectives. *Gayana* 67:275-301.
- Miranda, F. 1955. *Formas de vida vegetales y el problema de la delimitación de las zonas áridas de México*. Mesas Redondas sobre Problemas de las Zona Áridas de México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, México.
- Miranda, H. S., M. M. C. Bustamante, y A. C. Miranda. 2002. The fire factor. Páginas 51-68 en P. S. Oliveira y R. Marquis, editores. *The Cerrados of Brazil. Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*. Columbia University Press, Nueva York.
- Mittermeier, R. A., H. de Macedo-Ruiz, B. A. Luscombe, y J. Cassidy. 1977. Rediscovery and conservation of the Peruvian yellow-tailed woolly monkey (*Lagothrix flavicauda*). Páginas 95-119 en H.S.H. Prince Rainier III of Monaco y G.H. Bourne, editores. *Primate Conservation*. Academic Press, Nueva York.
- Mittermeier, R. A., C. G. Mittermeier, P. Robles Gil, J. D. Pilgrim, W. R. Konstant, G. A. B. da Fonseca, y T. M. Brooks, editores. 2002. *Wilderness: Earth's Last Wild Places*. CEMEX, México.
- MMA. 2002. *Biodiversidade Brasileira: Avaliação e Identificação de Áreas e Ações Prioritárias para Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- Montalva, J., L. Ruz, y M. T. K. Arroyo. 2008. *Bombus terrestres Linnaeus (Hymenoptera: Apidae: Bombini) en Chile: causas y consecuencias*. Chagual: accepted.
- Montenegro, R. y C. Stephens. 2006. Indigenous health in Latin America and the Caribbean. *The Lancet* 367:1859-1869.
- Moraes, P. L. R. y M. T. V. C. Derbyshire. 2004. Estrutura genética de populações naturais de *Cryptocarya moschata* Nees (Lauraceae) na Mata Atlântica do sudeste brasileiro. *Biota*

- Neotropica* 4: disponible en: www.biotaneotropica.org.br/v4n1/pt/fullpaper?bn00404012004+en.
- Moraes, P. L. R., C. J. Nehme, M. C. Alves, M. T. V. C. Derbyshire, y A. J. Cavaleiro. 2007. Chemical composition of flavonoids and styrylpyrones and the genetic variability of isozymes in natural populations of *Cryptocarya mandioccana* Meisner (Lauraceae). *Biochemical Systematics and Ecology* 35:233-244 .
- Morales, C. L. y M. A. Aizen. 2006. Invasive mutualisms and the structure of plant-pollinator interactions in the temperate forest of north-west Patagonia, Argentina. *Journal of Ecology* 94:171-180.
- Morrone, J. J. 2001. *Biogeografía de América Latina y el Caribe*. Manuales y Tesis SEA 3, Zaragoza, España.
- Morrone, J. J. 2007. Hacia una biogeografía evolutiva. *Revista Chilena de Historia Natural* 80:509-520.
- Morrone, J. J. y J. V. Crisci. 1995. Historical biogeography: Introduction to methods. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26:373-401.
- Muñiz-Miret, N., R. Vamos, M. Hiraoka, F. Montagnini, y R. O. Mendelsohn. 1996. The economic value of managing the açai palm (*Euterpe oleracea* Mart.) in the floodplains of the Amazon estuary, Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management* 87:163-173.
- Muñoz, A. A. y L. A. Cavieres. 2006. A multi-species assessment of post-dispersal seed predation in the central Chilean Andes. *Annals of Botany* 98:193-201.
- Muñoz, A. A. y L. A. Cavieres. 2008. The presence of a showy invasive plant disrupts pollinator service and reproductive output in native alpine species only at high densities. *Journal of Ecology* 96:459-467.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. B. da Fonseca, y J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853-858.
- Myers, R. A. y B. Worm. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Science* 301:280-283.
- Nassar, N. M. A. 1978a. Conservation of the genetic resources of cassava *Manihot esculenta*; determination of wild species localities with emphasis on probable origin. *Economic Botany* 32:311-320.
- Nassar, N. M. A. 1978b. Microcentres of wild cassava *Manihot* spp. diversity in central Brazil. *Turrialba* 28.

- Nassar, N. M. A. 2002. Cassava, *Manihot esculenta* Crantz, genetic resources: Origin of the crop, its evolution and relationships with wild relatives. *Genetic and Molecular Research* 1:298-305.
- Navarro-González, R., F. A. Rainey, P. Molina, D. R. Bagaley, B. J. Hollen, J. de la Rosa, A. M. Small, R. C. Quinn, F. J. Grunthaler, L. Cáceres, B. Gomez-Silva, y C. P. McKay. 2003. Mars-Like soils in the Atacama Desert, Chile, and the dry limit of microbial life. *Science* 302:1018-1021.
- Núñez, D., L. Nahuelhual, y C. Oyarzun. 2006. Forests and water: The value of native temperate forests in supplying water for human consumption. *Ecological Economics* 58:606-616.
- Núñez-Farfán, J., C. A. Dominguez, L. E. Eguiarte, A. Cornejo, M. Quijano, J. Vargas, y R. Dirzo. 2002. Genetic divergence among Mexican populations of red mangrove (*Rhizophora mangle*): Geographic and historic effects. *Evolutionary Ecology Research* 4:1049-1064.
- Olson, D., E. Dinerstein, P. Canevari, I. Davidson, G. Castro, V. Morisset, R. Abell, y E. Toledo. 1998. *Freshwater Biodiversity of Latin America and the Caribbean. A Conservation Assessment*. Biodiversity Support Program, Washington DC.
- Orr, J. C., V. J. Fabry, O. Aumont, L. Bopp, S. C. Doney, R. A. Feely, A. Gnanadesikan, N. Gruber, A. Ishida, F. Joos, R. M. Key, K. Lindsay, E. Maier-Reimer, R. Matear, P. Monfray, A. Mouchet, R. G. Najjar, G.-K. Plattner, K. B. Rodgers, C. L. Sabine, J. L. Sarmiento, R. Schlitzer, R. D. Slater, I. J. Totterdell, M. F. Weirig, Y. Yamanaka, y A. Yool. 2005. Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437:681-686.
- Ortiz-Jaureguizar, E. y G. A. Cladera. 2006. Paleoenvironmental evolution of southern South America during the Cenozoic. *Journal of Arid Environments* 66:498-532.
- Oxenford, H. A., R. Roach, A. Brathwaite, L. Nurse, R. Goodridge, F. Hinds, K. Baldwin, y C. Finney. 2008. Quantitative observations of a major coral bleaching event on Barbados, Southeastern Caribbean. *Climate Change* 87:435-449.
- Paláez, O. 2008. Aborígenes poblaban Cuba hace 7 000 años. Disponible en: www.granma.cubaweb.cu/2008/07/30/nacional/artic02.html (1 of 2) 01/08/2008 2:07:31.
- Panizzi, A. R. 2002. Stink bugs on soybean in northeastern Brazil and a new record on the southern green stink bug, *Nezara viridula* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae). *Neotropical Entomology* 31:331-332.
- Pauly, D., V. Christensen, J. Dalsgaard, R. Froese, y F. C. Torres, Jr. 1998. Fishing down marine food webs. *Science* 279:860-863.

- Pavón, N. y O. Briones. 2001. Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semiarid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 49:265-277.
- Pennington, R. T. y C. W. Dick. 2004. The role of immigrants in the assembly of the South American rainforest tree flora. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 35 (9):1611-1622.
- Pequeño, G. y S. Saez. 2000. Los peces litorales del archipiélago de Juan Fernández (Chile): endemismo y relaciones ictiogeográficas. *Investigacion Marina* 28:27-37.
- Peres, C. A. 2001. Synergistic effects of subsistence hunting and habitat fragmentation on Amazonian forest vertebrates. *Conservation Biology* 15:1490-1505.
- Pérez, F., M. T. K. Arroyo, R. Medel, y M. A. Hershkovitz. 2006. Ancestral reconstruction of flower morphology and pollination systems in *Schizanthus* (Solanaceae). *American Journal of Botany* 93(7):1029-1038.
- Peterson, A. T. y J. Shaw. 2003. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: Ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects. *International Journal of Parasitology* 33:919-931.
- Pielou, E. C. 1979. *Biogeography*. Krieger Publishing Company, Malabar.
- Phillips, O. y J. S. Miller. 2002. *Global Patterns of Plant Diversity: Alwyn H. Gentry's Forest Transect Data Set*. Missouri Botanical Garden Press, St. Louis, MO.
- Pimentel, D., L. Lach, R. Zuniga, y D. Morrison. 2000. Environmental and economic costs of non-indigenous species in the United States. *Bioscience* 50:53-65.
- Pinard, M. A., F. E. Putz, y J. C. Licona. 1999 Tree mortality and vine proliferation following a wildfire in subhumid tropical forest in eastern Bolivia. *Forest Ecology and Management* 116:247-252.
- Piperno, D. R. y D. M. Pearsall. 1998. *The Origins of Agriculture in the Lowland Neotropics*. Academic, San Diego.
- Pisano, V. E. y M. Dimitri, 1973. Estudio ecológico de la región continental sur del área Andino-Patagónica. I. Contribución a la fitosociología de comunidades arbóreas, arbustivas y herbáceas al sur-este del Ventisquero Moreno, Parque Nacional 'Los Glaciares', Santa Cruz, Argentina. *Anales del Instituto de la Patagonia* 4:207-271.
- Porter, D. M. 1983. Vascular plants of the Galapagos: Origins and dispersal. Páginas 33-96 en R. I. Bowman, N. Berson, y A. E. Leviton, editores. *Patterns of Evolution in Galapagos Organisms*, Pacific Division. American Association for the Advancement of Science, San Francisco.

- Posadas, P. 1996. Distributional patterns of vascular plants in Tierra del Fuego: A study applying Parsimony Analysis of Endemicity (PAE). *Biogeographica* 72:161-177.
- Posadas, P., J. V. Crisci, y L. Katinas. 2006. Historical biogeography: A review of its basic concepts and critical issues. *Journal of Arid Environments* 66:389-403.
- Posadas, P., J. M. Estévez, y J. J. Morrone. 1997. Distributional patterns and endemism areas of vascular plants in the Andean subregion. *Fontqueria* 48:1-10.
- Power, M. J., J. Marlon, N. Ortiz, P. J. Bartlein, S. P. Harrison, F. E. Mayle, A. Ballouche, R. H. W. Bradshaw, C. Carcaillet, C. Cordova, S. Mooney, P. I. Moreno, I. C. Prentice, K. Thonicke, W. Tinner, C. Whitlock, Y. Zhang, Y. Zhao, A. A. Ali, R. S. Anderson, R. Beer, H. Behling, C. Briles, K. J. Brown, A. Brunelle, M. Bush, P. Camill, G. Q. Chu, J. Clark, D. Colombaroli, S. Connor, A.-L. Daniau, M. Daniels, J. Dodson, E. Doughty, M. E. Edwards, W. Finsinger, D. Foster, J. Frechette, M.-J. Gaillard, D.G. Gavin, E. Gobet, S. Haberle, D. J. Hallett, P. Higuera, G. Hope, S. Horn, J. Inoue, P. Kaltenrieder, L. Kennedy, Z. C. Kong, C. Larsen, C. J. Long, J. Lynch, E. A. Lynch, M. McGlone, S. Meeks, S. Mensing, G. Meyer, T. Minckley, J. Mohr, D. M. Nelson, J. New, R. Newnham, R. Noti, W. Oswald, J. Pierce, P. J. H. Richard, C. Rowe, M. F. Sanchez Goñi, B. J. Shuman, H. Takahara, J. Toney, C. Turney, D. H. Urrego-Sanchez, C. Umbanhowar, M. Vandergoes, B. Vanniere, E. Vescovi, M. Walsh, X. Wang, N. Williams, J. Wilmshurst, y J.H. Zhang. 2008. Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: An assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data. *Climate Dynamics* 30:887-907.
- Pram, A. y P. M. Galetti. 2005. Chromosomal diversification of reef fishes from genus *Centropyge* (Perciformes, Pomacanthidae). *Genetica* 123:227-233.
- Prothero, D., L. Ivany, y E. Nesbitt, editores. 2003. *From Greenhouse to Icehouse: The Marine Eocene-Oligocene Transition*. Columbus University Press, Nueva York.
- Pyšek, P., D. M. Richardson, M. Rejmánek, G. L. Webster, M. Williamson, y J. Kirschner. 2004. Alien plants in checklists and floras: Towards better communication between taxonomists and ecologists. *Taxon* 53:131-143.
- Quetier, F., A. Thebault, y S. Lavorel. 2007. Plant traits in a state and transition framework as markers of ecosystem response to land-use changes. *Ecological Monographs* 77:33-52.
- Ramírez, N. 1993. Reproductive biology in a tropical shrubland of Venezuelan Guayana. *Journal of Vegetation Science* 4:5-12.

- Ramírez, N. 2002. Reproductive phenology, life-forms, and habitats of the Venezuelan Central Plain. *American Journal of Botany* 89:836-842.
- Ramos-Neto, M. B. y V. R. Pivello. 2000. Lightning fires in a Brazilian savanna national park: Rethinking management strategies. *Environmental Management* 26:675-684.
- Ratter, J. A., S. Bridgewater, y J. F. Ribeiro. 2003 Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation. III. Comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany* 60:57-109.
- Reis, A., R. Conte, A. C. Fantini, R. O. Nodari, y A. G. Reis, M.P. 1999a. Manejo do Palmeiteiro. Páginas 91–119 en A. Reis y M. S. Reis, editores. *Euterpe edulis Martius - Biología, Conservação e Manejo Sustentado*. Herbário Barbosa Rodrigues y SBS, Itajaí.
- Reis, A., R. Vencovski, P. Y. Kageyama, A. C. Fantini, R. O. Nodari, y A. Mantovani. 1999b. Variação genética em populações naturais de *Euterpe edulis Martius* na Floresta Tropical Atlântica. Páginas 91-119 en A. Rei y M. S. Reis, editores. *Euterpe edulis Martius - Biología, Conservação e Manejo Sustentado*. Herbário Barbosa Rodrigues y SBS, Itajaí.
- Rejmánek, M. 2005. Invasive plants: What we know and what we want to know. *American Journal of Botany* 92:901-902.
- Richardson, J. E., R. T. Pennington, T. D. Pennington, y P. M. Hollingsworth. 2001. Rapid diversification of a species-rich genus of neotropical rain forest trees. *Science* 293:2242-2245.
- Ricklefs, R. E., M. T. Kalin-Arroyo, R. E. Latham, T. M. Lewinsohn, D. J. Lodge, N. I. Platnick, y W. Wright. 1995. Section 4: Magnitude and distribution of biodiversity; Chapter 3.2: The distribution of biodiversity. Páginas 139-173 en V. H. Heywood, editor. *Global Biodiversity Assessment*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ríos, D., M. Ghislain, F. Rodríguez, y D. M. Spooner. 2007 What is the origin of the European potato? Evidence from Canary Island landraces. *Crop Science* 47:127-128.
- Rivera-Monroy, V. H., R. R. Twilley, D. Bone, D. L. Childers, R. C. Coronado-Molina, I. C. Feller, J. Herrera-Silveira, R. Jaffe, E. Mancera, E. Rejmankova, J. E. Salisbury, y E. Weil. 2004. A conceptual framework to develop long-term ecological research and management objectives in the wider Caribbean region. *BioScience* 54:843 -856.
- Riveros, M., A. M. Humaña, y M. K. Arroyo. 1996. Sistemas de reproducción en especies del bosque Valdiviano (40° Latitud Sur). *Phyton* 58:167-176.

- Rodrigues, R. R., C. A. Joly, M. C. W. Brito, A. Paese, J. O. Metzger, L. Casatti, M. A. Nalon, N. A. Menezes, V. S. Bolzani, y V. L. R. Bononi. 2008. *Diretrizes para a conservação e restauração da biodiversidade no estado de São Paulo*. Programa BIOTA/FAPESP y FAPESP y Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo.
- Rodríguez, J. P., J. K. Balch, y K. M. Rodríguez-Clark. 2007. Assessing extinction risk in the absence of species-level data: Quantitative criteria for terrestrial ecosystems. *Biodiversity and Conservation* 16:183-209.
- Rodríguez, J. P., K. M. Rodríguez-Clark, M. A. Oliveira-Miranda, T. Good, y A. Grajal. 2006. Professional capacity building: The missing agenda in conservation priority setting. *Conservation Biology* 20:1340.
- Rodríguez, L. O. y K. R. Young. 2000. Biological diversity of Peru: Determining priority areas for conservation. *Ambio* 29:329-337.
- Rogers, D. y C. Appan. 1973. *Manihot, Manihotoides, Euphorbiaceae, Flora Neotropica*. Hafner Press, Nueva York.
- Rogers, D. S. y H. S. Fleming. 1973. A monograph of *Manihot esculenta*, with an explanation of the taximetric methods used. *Economic Botany* 27:1-113.
- Roosevelt, A. C., M. Lima da Costa, C. Lopes Machado, M. Michab, N. Mercier, H. Valladas, J. Feathers, W. Barnett, M. Imazio da Silveira, A. Henderson, J. Silva, B. Chernoff, D. S. Reese, J. A. Holman, N. Toth, y K. Schick. 1996. Paleoindian cave dwellers in the Amazon: The peopling of the Americas. *Science* 272:373-384.
- Rovito, S. M., M. T. K. Arroyo, y P. Plischoff. 2004. Distributional modelling and parsimony analysis of endemism of Senecio in the mediterranean-type climate area of Central Chile. *Journal of Biogeography* 31:1623-1636.
- Rozzi, R., J. J. Armesto, B. Goffinet, W. Buck, F. Massardo, J. Silander, M. T. K. Arroyo, S. Russell, C. B. Anderson, L. A. Cavieres, y J. B. Callicott. 2008. Changing lenses to assess biodiversity: Patterns of species richness in sub-Antarctic plants and implications for global conservation. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:137-137.
- Ruiz, D., H. A. Moreno, M. E. Gutierrez, y P. A. Zapata. 2008. Changing climate and endangered high mountain ecosystems in Colombia. *Science of the Total Environment* 398:122-132.
- Ruiz, T. y M. T. K. Arroyo. 1978. Plant reproductive ecology of a secondary deciduous tropical forest in Venezuela. *Biotropica* 10:221-230.

- Rull, V. 2008. Speciation timing and neotropical biodiversity: The Tertiary-Quaternary debate in the light of molecular phylogenetic evidence. *Molecular Ecology* 17:2722-2729.
- Sabino, J., y P. I. Prado. 2006. Vertebrados: Síntese do Conhecimento da Diversidade Biológica do Brasil. Páginas 55-143 en T. M. Lewinsohn, editor. *Avaliação do Estado do Conhecimento da Diversidade Brasileira*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- Sala, O. E., F. S. Chapin, III, J. J. Armesto, E. Berlow, J. Bloomfield, R. Dirzo, E. Huber-Sanwald, L. F. Huenneke, R. B. Jackson, A. Kinzig, R. Leemans, D. M. Lodge, H. A. Mooney, M. Oesterheld, N. L. Poff, M. T. Sykes, B. H. Walker, M. Walker, y D. H. Wall. 2000. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science* 287:1770-1774.
- Salazar, L. F., C. A. Nobre, y M. D. Oyama. 2007. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters* 34:doi: 10.1029/2007GL029695.
- Sampaio, G., C. Nobre, M. H. Costa, P. Satyamurty, B. S. Soares-Filho, y M. Cardoso. 2007. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters* 34:L17709.
- San José, J. J. y M. R. Fariñas. 1971. Estudio sobre los cambios de la vegetación protegida de la quema y el pastoreo en la Estación Biológica de Los Llanos. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* 119:136-146.
- San Martín, I., L. Wanntorp, y R. C. Winkworth. 2007. West Wind Drift revisited: Testing for directional dispersal in the Southern Hemisphere using event-based tree fitting. *Journal of Biogeography* 34:398-416.
- Santelices, B. 1992. Marine phytogeography of the Juan Fernández Archipelago. A new assessment. *Pacific Science* 46:438-452.
- Santelices, B. y P. A. Marquet. 1998. Seaweeds, latitudinal diversity patterns, and Rapoport's rule. *Diversity and Distributions* 4:71-75.
- Sarmiento, G. y M. Monasterio. 1971. Ecología de las sabanas de América Tropical. I. Análisis macroecológico de los llanos de Calabozo. *Venezuela Revista de Geografía* 21:5-38.
- Sarukhán, J. y R. Dirzo, editores. 2001. *Biodiversity-rich Countries*. San Diego: Academic, San Diego.
- Scherson, R., R. Vidal, y M. Sanderson. 2008. Phylogeny, biogeography, and rates of diversification of New World *Astragalus* (Leguminosae) with an emphasis on South American radiations. *American Journal of Botany* 95:1030-1039.

- Schmidt, C. B. 1951. A mandioca, contribuição para o conhecimento de sua origem. *Boletim da Agricultura* No. 11. Diretoria de Publicidade Agrícola, Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio, São Paulo, Brasil.
- Scholes, R. J., G. M. Mace, W. Turner, G. N. Geller, N. Jürgens, A. Larigauderie, D. Muchoney, B. A. Walther, y H. A. Mooney. 2008. Ecology: Toward a global Biodiversity Observing System. *Science* 321:1044-1045.
- Schöngart, J., M. T. F. Piedade, S. Ludwigshausen, V. Horna, y M. Worbes. 2002. Phenology and stemgrowth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology* 18:581-597.
- Shanley, P. y G. R. Gaia. 2002. Equitable ecology: Collaborative learning for local benefit in Amazonia. *Agricultural Systems* 73:83-97.
- Shepherd, G. J. 2006. Conhecimento de diversidade de plantas terrestres. Páginas en T. M. Lewinsohn, editor. *Avaliação do Estado do Conhecimento da Diversidade Biológica Brasileira*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.
- Shukla, J., C. Nobre, y P. Sellers. 1990. Amazon deforestation and climate change. *Science* 247:1322-1325.
- Silva, J. F., M. R. Fariñas, J. M. Felfili, y C. A. Klink. 2006. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography* 33:536-548.
- Silva, J. M. C., M. Tabarelli, M. T. Fonseca, y L. V. Vanucci. 2004. *Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação*. Ministério do Meio Ambiente y Universidade Federal de Pernambuco, Brasília.
- Simonetti, J. A. 1997. Biodiversity and a taxonomy of Chilean taxonomists. *Biodiversity and Conservation* 6:633-637.
- Simonetti, J. A., M. T. K. Arroyo, A. E. Spotorno, y E. Lozada, editores. 1995. *Diversidad Biológica de Chile*. CONICYT, Santiago.
- Simpson, A. J. G., F. C. Reinach, P. Arruda, F. A. Abreu, M. Acencio, R. Alvarenga, L. M. C. Alves, J. E. Araya, G. S. Baia, C. S. Baptista, M. H. Barros, E. D. Bonaccorsi, S. Bordin, J. M. Bove, M. R. S. Briones, M. R. P. Bueno, A. A. Camargo, L. E. A. Camargo, D. M. Carraro, H. Carrer, N. B. Colauto, C. Colombo, F. F. Costa, M. C. R. Costa, C. M. Costa-Neto, L. L. Coutinho, M. Cristofani, E. Dias-Neto, C. Docena, H. El-Dorry, A. P. Facincani, A. J. S. Ferreira, V. C. A. Ferreira, J. A. Ferro, J. S. Fraga, S. C. Franca, M. C. Franco, M. Frohme, L. R. Furlan, M. Garnier, G. H. Goldman, M. H. S. Goldman, S. L. Gomes, A. Gruber, P. L.

- Ho, J. D. Hoheisel, M. L. Junqueira, E. L. Kemper, J. P. Kitajima, J. E. Krieger, E. E. Kuramae, F. Laigret, M. R. Lambais, L. C. C. Leite, E. G. M. Lemos, M. V. F. Lemos, S. A. Lopes, C. R. Lopes, J. A. Machado, M. A. Machado, A. M. B. N. Madeira, H. M. F. Madeira, C. L. Marino, M. V. Marques, E. A. L. Martins, E. M. F. Martins, A. Y. Matsukuma, C. F. M. Menck, E. C. Miracca, C. Y. Miyaki, C. B. Monteiro-Vitorello, D. H. Moon, M. A. Nagai, A. L. T. O. Nascimento, L. E. S. Netto, A. Nhani, F. G. Nobrega, L. R. Nunes, M. A. Oliveira, M. C. de Oliveira, R. C. de Oliveira, D. A. Palmieri, A. Paris, B. R. Peixoto, G. A. G. Pereira, H. A. Pereira, J. B. Pesquero, R. B. Quaggio, P. G. Roberto, V. Rodrigues, A. J. de M. Rosa, V. E. de Rosa, R. G. de Sa, R. V. Santelli, H. E. Sawasaki, A. C. R. da Silva, A. M. da Silva, F. R. da Silva, W. A. Silva, J. F. da Silveira, M. L. Z. Silvestri, W. J. Siqueira, A. A. de Souza, A. P. de Souza, M. F. Terenzi, D. Truffi, S. M. Tsai, M. H. Tshako, H. Vallada, M. A. Van Sluys, S. Verjovski-Almeida, A. L. Vettore, M. A. Zago, M. Zatz, J. Meidanis, y J. C. Setubal. 2000. The genome sequence of the plant pathogen *Xylella fastidiosa*. *Nature* 406:151-157.
- Simpson, B. B., J. A. Tate, y A. Weeks. 2005. The biogeography of *Hoffmannseggia* (Leguminosae, Caesalpinioideae, Caesalpinieae): A tale of many travels. *Journal of Biogeography* 32 15-27.
- Siqueira, M. F. y A. T. Peterson. 2003. Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado forest trees. *Biota Neotropica*: Available from www.biotaneotropica.org.br/v3n2/pt/abstrac t?article+BN00803022003 (accessed January 00803022005).
- Smale, D. A. y D. K. A. Barnes. 2008. Likely responses of the Antarctic benthos to climate-related changes in physical disturbance during the 21st century, based primarily on evidence from the West Antarctic Peninsula Region. *Ecography* 31:289-305.
- Smith, R. I. L. 2005. The thermophilic bryoflora of Deception Island: Unique plant communities as a criterion for designating an Antarctic Speciality Protected Area. *Antarctic Science* 17:17-27.
- Smith-Ramírez, C., P. Martínez, M. Núñez, C. González, y J. J. Armesto. 2005. Diversity, flower visitation frequency, and generalism of pollinators in temperate rain forests of Chiloé Island, Chile. *Botanical Journal of the Linnean Society* 147:399-416.
- Soberón, J. y J. Llorente. 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology* 7(3):480-488.
- Soberón, J., J. Llorente-Bousquets, y L. Oñate. 2000. The use of specimen-label databases for conservation purposes: An example using Mexican Papilionid and Pierid butterflies. *Biodiversity and Conservation* 9(10):1441-1466.

- Soejima, A., J. Wen, M. Zapata, y M. O. Dillon. 2008. Phylogeny and putative hybridization in the subtribe Paranepheliinae (Liabeae, Asteraceae), implications for classification, biogeography, and Andean orogeny. *Journal of Systematics and Evolution* 46:375-390.
- Soltis, D., R. K. Kuzoff, M. E. Mort, M. Zanis, M. Fishbein, L. Hufford, J. Koontz, y M. T. K. Arroyo. 2001. Elucidating deep-level phylogenetic relationships in Saxifragaceae using sequences for six chloroplastic and nuclear DNA regions. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 88:669-693.
- Souza, V., L. Espinosa-Asuar, A. E. Escalante, L. E. Eguiarte, J. Farmer, L. Forney, L. Lloret, J. M. Rodríguez-Martínez, X. Soboron, R. Dirzo, y J.J. Eiser. 2006. An endangered oasis of aquatic microbial biodiversity in the Chihuahuan desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103:6565-6570.
- Squeo, F. A., G. Arancio, y J. R. Gutiérrez. 2008. *Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Atacama*. Ediciones Universidad de La Serena, La Serena.
- Stahl, P. W. 1996. Holocene biodiversity: An archaeological perspective from the Americas. *Annual Review of Anthropology* 25:105-126.
- Stebbins, G. L. 1981. Coevolution of grasses and herbivores. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 68:75-86.
- Thomas, C. D., A. Cameron, R. E. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. C. Collingham, B. F. N. Erasmus, M. R. de Siquiera, A. Grainger, L. Hannah, L. Hughes, B. Huntley, A. S. van Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. A. Ortega-Huerta, A. T. Peterson, y O. L. Phillips. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427:145-148.
- Tognelli, M. F., P. I. Ramirez de Arellano, y P. A. Marquet. 2008. How well do the existing and proposed reserve networks represent vertebrate species in Chile? *Diversity and Distributions* 14:148-158.
- Toledo, V. M. 1995. Peasantry, agro-industriality, sustainability: The ecological and historical grounds of rural development. *Interamerican Council on Sustainable Agriculture Working Papers* 3:1-27.
- Toledo, V. M., B. Ortiz-Espejel, L. Cortés, P. Moguel, y M. D. J. Ordoñez. 2003. The multiple use of tropical forests by indigenous peoples in Mexico: A case of adaptive management. *Conservation Ecology* 7:9. Disponible en: www.consecol.org/vol7/iss3/art9.

- Trejo, I. y R. Dirzo. 2002. Floristic diversity of Mexican seasonally dry tropical forests. *Biodiversity and Conservation* 11:2063-2084.
- UNEP/GRID-Arendal Maps y Graphics Library. 2005a. Intense hurricanes in the Atlantic Basin. Disponible en: http://maps.grida.no/go/graphic/intense_hurricanes_in_the_atlantic_basin.
- UNEP/GRID-Arendal Maps y Graphics Library. 2005b. Trends in regional average surface temperatures. Disponible en: <http://maps.grida.no/go/graphic/trends-in-regional-average-surface-temperatures>.
- United Nations Environment Programme. 2007. *GEO-4: Fourth Global Environment Outlook Assessment* 1:572. Disponible en: www.unep.org/GEO.
- Valdovinos, C., S. A. Navarrete, y P. A. Marquet. 2003. Mollusk species diversity in the South-eastern Pacific: Why are there more species towards the pole? *Ecography* 26:139-144.
- Valencia, R., H. Balslev, y G. C. Paz y Miño. 1994. High tree alpha-diversity in Amazonian Ecuador. *Biodiversity and Conservation* 3:21-28.
- Valéry, L., H. Fritz, J. C. Lefeuvre, y D. Simberloff. 2008. In search of a real definition of the biological invasion phenomenon itself. *Biological Invasions* 10:1345-1351.
- Van der Hammen, T. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *Journal of Biogeography* 1:3-26.
- Vari, R. P. y L. R. Malabarba. 1998. Neotropical ichthyology: An overview. Páginas 1-12, en L. R. Malabarba, R. Vari, Z. M. S. Lucena, y C. A. S. Lucena, editores. *Phylogeny and classification of Neotropical Fishes*. Edipucrs, Porto Alegre.
- Vavilov, N. I. 1926. *Centers of Origin of Cultivated Plants*. Universidad de Cambridge Press, Cambridge.
- Vázquez, D. P. y M. A. Aizen. 2004. Asymmetric specialization: A pervasive feature of plant-pollinator interactions. *Ecology* 85:1251-1257.
- Viglizzo, E. F. y F. C. Frank. 2006. Land-use options for Del Plata Basin in South America: Tradeoffs analysis based on ecosystem service provision. *Ecological Economics* 57:140-151.
- Vila, C. P., J. E. Savolainen, I. R. Maldonado, J. E. Amorim, R. L. Rice, K. A. Honeycutt, J. L. Crandall, y R. K. Wayne. 1997. Multiple and ancient origins of the domestic dog. *Science* 276:1687-1689.
- Villagrán, C. y L. F. Hinojosa. 1997. Historia de los bosques del sur de Sudamérica, II: Análisis fitogeográfico. *Revista Chilena de Historia Natural* 70:241-267.

- Villaseñor, J. L. y F. J. Espinosa-García. 2004. The alien flowering plants of Mexico. *Diversity and Distributions* 10:113-123.
- Von Hagen, K. B. y J. W. Kadereit. 2003. The diversification of *Halenia* (Gentianaceae): Ecological opportunity versus key innovation. *Evolution* 57:2507-2518.
- Vuilleumier, F. y M. Monasterio, editores. 1986. *High Altitude Tropical Biogeography*. Oxford University Press, Oxford.
- Watson, R. T., I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo, y D. J. Dokken. 2000. *Land Use, Land-Use Change, and Forestry*. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Weir, J. T. y D. Schluter. 2007. The latitudinal gradient in recent speciation and extinction rates of birds and mammals. *Science* 315:1574-1576.
- Wheeler, J. C. 1995. Evolution and present situation of the South American Camelidae. *Biological Journal of the Linnean Society* 54:271-295.
- Williams, S. L. y J. E. Smith. 2007. A global review of the distribution, taxonomy, and impacts of introduced seaweeds. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 38:327-359.
- Wojcik, V. A., G. W. Frankie, R. W. Thorp, y J. L. Hernandez. 2008. Seasonality in bees and their floral resource plants at a constructed urban bee habitat in Berkeley, California. *Journal of the Kansas Entomological Society* 81:15-28.
- Woodd-Walker, R. S., P. Ward, y A. Clarke. 2002. Large scale patterns in diversity and community structure of surface water copepods from the Atlantic Ocean. *Marine Ecology Progress Series* 236:189-203.
- World Bank. 2006. Scaling up marine management. The role of marine protected areas report 36635 -GLB. World Bank, Washington DC.
- Wright, S., J. Keeling, y G. L. 2006. The road from Santa Rosalia: A faster tempo of evolution in tropical climates. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103:7718-7722.
- Yahnke, C. J., I. G. de Fox, y F. Colman. 1998. Mammalian species richness in Paraguay: The effectiveness of national parks in preserving biodiversity. *Biological Conservation* 84:263-268.
- Zak, M. R., M. Cabido, D. Cáceres, y S. Díaz. 2008. What drives accelerated land cover change in central Argentina? Synergistic consequences of climatic, socioeconomic, and technological factors. *Environmental Management* 42:181-189.
- Zalba, S. M., Y. A. Cuevas, y R. M. Bóo. 2008. Invasion of *Pinus halepensis* Mill. following a

- wildfire in an Argentine grassland nature reserve. *Journal of Environmental Management* 88:539-546.
- Zarin, D. J., E. A. Davidson, E. Brondizio, I. C. G. Vieira, T. Sá, T. Feldpauch, E. A. G. Schuur, R. Mesquita, E. Moran, P. Delamonica, M. J. Ducey, G. C. Hurtt, C. Salimon, y M. Denich. 2005. Legacy of fire slows carbon accumulation in Amazonian forest regrowth. *Frontiers in Ecology and the Environment* 3(7):365-369.
- Ziller, S. 2006. Invasive alien species. Working from Brazil to South America. <http://i3n.iabin.net/documents/pdf/EnglishVersion06.pdf>
- Zuloaga, F. O., Morrone O., y M. J. Belgrano. 2008. *Catálogo de las Plantas Vasculares del Cono Sur. Argentina, Sur de Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay*. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 107. (3 volumes). Missouri Botanical Garden Press, Saint Louis.

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

ABC: Academia Brasileira de Ciências

ALC: América Latina y El Caribe

ALICMAR: Asociación Latinoamericana de Investigadores en Ciencias del Mar

BSP: Programa de Apoyo a la Biodiversidad

CASEB: Centro de Estudios Avanzados en Ecología y Diversidad, Chile

CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica

CBD: Convenio sobre Diversidad Biológica

CBOL: Consorcio para el Código de Barras de la Vida

CENARGEN: Centro Nacional de Pesquisas de Recursos Genéticos e Biotecnologia, Brasil

CeNBio: Centro Nacional de Biodiversidad, Cuba

CHBR: Reserva de la Biosfera de Cabo de Hornos

CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia

CIMMYT: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México

CIP: Centro Internacional de la Papa, Perú

CNAP: Centro Nacional de Áreas Protegidas, Cuba

CON: Comité Oceanográfico Nacional, Cuba

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México

CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México

COP6: Sexta Conferencia de las Partes del IAI

ENSO: Oscilación Meridional de El Niño

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

FF: Últimos bosques

GCM: Modelos generales de circulación

GEOSS: Red Mundial de Sistemas de Observación Terrestre

GIS: Sistema de Información Geográfica

GMBA: Evaluación Mundial de Biodiversidad de las Montañas

IAI: Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global

IB: Instituto de Biociências, Universidade Federal de Rio de Janeiro, Brasil

IBTA-PROINPA: Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria, Programa de Investigación de la Papa

ICAE: Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Venezuela

ICSU: International Council for Science

ICSU-IAC: Oficina Regional de ICSU para América Latina y El Caribe

IEB: Instituto de Ecología y Biodiversidad, Chile

IES: Instituto de Ecología y Sistemática, Cuba

ILTER: Investigación Ecológica Internacional de Largo Plazo

IMOSEB: Mecanismo Internacional de Conocimientos Científicos sobre la Biodiversidad

INBio: Instituto Nacional de Biodiversidad, Costa Rica

INIA: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile

INIAP: Instituto Nacional de Investigação Agrária e das Pescas, Portugal

INiAP: Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ecuador

INPA: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Brasil

INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina

IPCC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

IPGRI: Instituto Internacional de Recursos Genéticos Vegetales

ITCZ: Zona de Convergencia Intertropical

IAP: Iniciativa Latinoamericana de Botánica

LAPSN: Red Latinoamericana de Ciencias Botánicas

IEK: Conocimientos ecológicos locales

LGM: Último máximo glacial

MAB: Programa el Hombre y la Biosfera

MEABR: Áreas de Manejo y Explotación de Recursos Bentónicos

MMA: Ministério do Meio Ambiente, Brasil

NEPAM: Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais, Brasil

NHGRI: National Human Genome Research Institute, Estados Unidos

NiMPA: Áreas Marinas Protegidas sin Captura

OEA: Organización de Estados Americanos

OMZ: Zonas de mínimo oxígeno

PAE: Análisis de parsimonia del endemismo

PD: Diversidad filogenética

PIB: Producto interno bruto

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

RAPDs: Amplificación randomica de DNA polimórfico (término convencional de biología molecular)

RCLAC: Comité Regional de ICSU para América Latina y El Caribe

RENTAS: Rede Nacional de Combate ao Tráfico de Animais Silvestres, Brasil

SCME: Sociedad Científica Mexicana de Ecología

SINAP: Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas

SOCLA: Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología

TURF: Derechos de usuarios territoriales en pesquerías

UFRJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

ONU: Organización de las Naciones Unidas

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

UNICAMP: Universidade Estadual de Campinas, Brasil

USP: Universidade de São Paulo, Brasil

WCPA: Comisión Mundial de Áreas Protegidas

WRI: Instituto Mundial de Recursos

WWF: Fondo Mundial para la Vida Silvestre

