CAPÍTULO 3

LA INFORMÁTICA PARA LA BIODIVERSIDAD EN COSTA RICA

Manuel Vargas Del Valle

La biodiversidad sustenta los servicios que brindan los ecosistemas, los cuales son de importancia vital para la sociedad. A pesar de que en las últimas décadas, los líderes del mundo y la sociedad en general, han alcanzado una mayor concientización acerca de la importancia de la biodiversidad para el ser humano, los avances para conservarla siguen siendo insuficientes, como lo demuestra el fracaso de las metas propuestas en la Cumbre de la Tierra de Johannesburgo en 2002 y que fueron acordadas por más de un centenar de jefes de estado, con el fin de lograr una reducción significativa del ritmo de pérdida de la diversidad biológica a nivel global para 2010. Ese mismo año, la secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) de las Naciones Unidas evaluó las 21 metas y llegó a la conclusión de que ninguna de estas fue alcanzada en el plano mundial. Por el contrario, se advirtió que las principales presiones causantes de la pérdida de diversidad biológica no solo son constantes, sino que además, en algunos casos, están intensificándose.

Hay un consenso general en el sentido de que una de las principales razones por la que los gobiernos del mundo fallaron en su intento por reducir el ritmo de pérdida de la biodiversidad fue la falta de información y de herramientas adecuadas para procesarla. La emergente área de conocimiento conocida como informática para la biodiversidad se ocupa de la aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) al manejo, presentación, descubrimiento, exploración y análisis de datos de biodiversidad, por lo que puede ser una valiosa herramienta para su conservación y uso sostenible. Se espera que los datos sobre biodiversidad generados por los diferentes centros de investigación, por los gobiernos y por la sociedad civil, sean una piedra angular en la consecución de las nuevas metas propuestas en 2010, en la ciudad japonesa de Aichi, para el año 2020. Estas metas fueron adoptadas por el CDB ante el incumplimiento de las fijadas en Johannesburgo en 2002.

En este capítulo, se describe la problemática de la biodiversidad, a nivel mundial y nacional, y se explica como la informática para la biodiversidad puede ayudar a su resolución. El capítulo consta de cuatro secciones. En la primera, se describe la alarmante situación de la pérdida de la biodiversidad a nivel mundial y se detallan algunas de las acciones que los gobiernos del

mundo han tomado para tratar de controlarla, considerando el nexo vital que existe entre la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y la sociedad. En la segunda sección, se detalla la situación privilegiada que ostenta Costa Rica en términos de riqueza biológica y como la falta de instrumentos para recopilar, sistematizar, resumir y presentar la información asociada a este recurso está afectando las labores relacionadas con su conservación e investigación, entre otras. En la tercera parte, se explican los fundamentos de la informática para la biodiversidad, junto con una descripción de sus principales metas y de las iniciativas que se han formado a nivel mundial en torno a esta nueva disciplina. Finalmente, en el cuarto apartado, se hace una revisión de los principales esfuerzos que están realizándose en Costa Rica en el área de informática para la biodiversidad.

3.1 PROBLEMÁTICA DE LA BIODIVERSIDAD A NIVEL GLOBAL

El término biodiversidad se usa para referirse a la variedad y variabilidad de los seres vivos que habitan el planeta Tierra. Esta variedad y variabilidad puede expresarse en términos de especies[1], genes[2] y ecosistemas[3]. Por ejemplo, se dice que una zona o país es rico en biodiversidad, si cuenta en su territorio con una gran cantidad de especies silvestres de flora y fauna, con muchas variedades de especies agrícolas o con una considerable riqueza de tipos de bosques. Gracias al trabajo de investigadores a lo largo de varios siglos, se sabe ahora que la biodiversidad está distribuida de manera heterogénea en la Tierra. Algunas zonas, como los bosques tropicales o los arrecifes de coral, son sumamente ricas en

1 El concepto de especie es la unidad fundamental de la clasificación biológica. Frecuentemente es definida como un grupo de organismos capaces de reproducirse entre sí y generar descendencia fértil. Para determinar si dos organismos pertenecen a la misma especie, pueden utilizarse diferentes criterios, como la comparación de sus características morfológicas, la similitud de su ácido desoxirribonucleico (ADN) o el área geográfica que ocupan. Según el sistema nomenclatural propuesto por el científico sueco Carl Linnaeus (1707 - 1778), todas las especies conocidas tienen un nombre binomial compuesto por dos palabras: el género (o nombre genérico) y el nombre específico. Así, por ejemplo, Panthera onca (jaguar) es una de las cuatro especies del género Panthera (el de los grandes felinos), el cual incluye también las especies Panthera leo (león), Panthera tigris (tigre) y Panthera pardus (leopardo) (Roskov et al., 2013). Más de 1,2 millones de especies han sido nombradas y catalogadas de esta manera (Beaman et al., 2004; Mora, Tittensor, Adl, Simpson, & Worm, 2011).

2 Un gen se define como la secuencia de ADN que ayuda a determinar la transmisión de los caracteres hereditarios (Pierce, 2005). Desde el punto de vista de biodiversidad, el nivel genético es importante porque permite que las especies y las poblaciones se adapten a condiciones cambiantes. Mientras más variedad exista en una especie o población, más posibilidades habrá de que cuente con individuos que puedan adaptarse a las nuevas condiciones (e.g. cambios en el clima). Esos individuos tendrán una mejor oportunidad de tener descendencia fértil y la especie o población perdurará por más generaciones.

3 Un ecosistema es un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente (e.g. aire, agua, suelo), que interactúan como una unidad funcional (Naciones Unidas, 1992). Estos componentes bióticos y abióticos están enlazados a través de ciclos de nutrientes y flujos de energía. Los ecosistemas funcionan con base en las redes de interacción que se forman entre los organismos vivos y entre estos organismos y el ambiente que los rodea. Un ecosistema puede ser de cualquier tamaño, pero por lo general hace referencia a un espacio específico y limitado, aunque algunos científicos afirman incluso que todo el planeta Tierra es un ecosistema ("Ecosystem," n.d.).

biodiversidad, mientras que en otras, como los desiertos o los polos, es sumamente escasa. Se conoce que la biodiversidad terrestre tiende a ser mayor en las zonas cercanas al Ecuador, probablemente debido a factores como el calor y la mayor disponibilidad de energía ambiental (Gaston, 2000), y que la biodiversidad marina es más alta a lo largo de las costas del océano Pacífico occidental, posiblemente por causa de la temperatura de la superficie del agua (Tittensor et al., 2010). Se ha determinado también que la diversidad biológica tiende a agruparse en ciertas zonas de la Tierra llamadas puntos calientes de biodiversidad (o biodiversity hotspots, en inglés) (Myers, Mittermeier, Mittermeier, da Fonseca, & Kent, 2000). Costa Rica se ubica en el hotspot correspondiente a la región mesoamericana, que se extiende desde México hasta Panamá.

Más formalmente, la biodiversidad (o diversidad biológica) se define en el artículo 2 del CDB como «la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas» (Naciones Unidas, 1992).

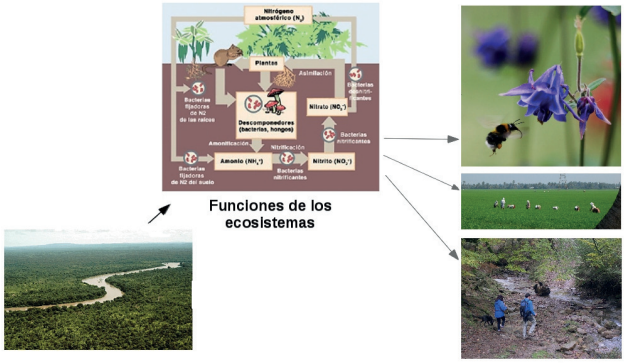
3.1.1 Relación entre biodiversidad, funciones de los ecosistemas, servicios ecosistémicos y bienestar humano

La biodiversidad sustenta las funciones de los ecosistemas, las cuales son procesos ecológicos que controlan los flujos de energía, de nutrientes y de materia orgánica. Este conjunto de funciones permite que los ecosistemas brinden bienes y servicios, denominados servicios ecosistémicos, que son vitales para la humanidad, tales como el agua potable, la producción de alimentos, el control del clima y de las enfermedades, la eliminación de los contaminantes y la protección frente a desastres, como el deslizamiento de tierras y las inundaciones. La importancia de los servicios ecosistémicos está implícita en preguntas como: ¿pueden los bosques con mayor cantidad de especies de árboles almacenar más carbono y así ayudar a mitigar los efectos del cambio climático?, ¿son los ecosistemas más biodiversos los más aptos para recuperarse de incendios, sequías y plagas?, ¿se incrementa la materia orgánica del suelo con una mayor diversidad de especies de plantas?

La relación entre biodiversidad, funciones de los ecosistemas, servicios ecosistémicos y bienestar humano se sintetiza en la figura 3.1.

Figura 3.1

Biodiversidad, funciones de los ecosistemas y servicios ecosistémicos



Fuente: Prosic, noviembre 2013, con imágenes de Wikimedia Commons (EPA, 2005; Gorkaazk, 2010; Mtkopone, 2008; Roo72, 2008; USGS, 2005).

La biodiversidad actual[4] es el resultado de miles de millones de años de evolución, durante los cuales muchas especies han surgido en la Tierra y otras muchas han desaparecido[5], como producto de procesos evolutivos naturales y de extinciones masivas, estas últimas provocadas por fuertes cambios en las condiciones ambientales (Raup & Sepkoski, 1982) y, más recientemente, por la influencia del crecimiento de la población humana (AMNH, 1998; McKee, Sciulli, Fooce, & Waite, 2004).

Durante la década de 1980, una creciente preocupación acerca del ritmo de extinción de especies motivó la realización de investigaciones que señalaron la posibilidad de que este fenómeno pudiera alterar sustancialmente la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (Cardinale et al., 2012). En las dos décadas siguientes, miles de experimentos, que incluyeron la manipulación de cientos de tipos de organismos en ecosistemas terrestres, marinos y dulceacuícolas, fueron realizados en el campo y en los laboratorios para comprender mejor la relación entre biodiversidad y funciones de los ecosistemas. A pesar de que los resultados de estos experimentos han despertado cierto grado de discusión desde sus inicios, se ha ido alcanzando en la comunidad científica un consenso en el sentido de que algunas funciones de los ecosistemas, como la producción de biomasa y los ciclos de nutrientes, responden fuertemente a cambios en la diversidad biológica. Hay también fuertes evidencias de que la biodiversidad incrementa la estabilidad de los ecosistemas a través del tiempo (Cardinale et al., 2012; Naeem, Thompson, Lawler, Lawton, & Woodfin, 1994; Tilman & Downing, 1994).

El interés por las funciones de los ecosistemas dio lugar a una agenda internacional de investigación alrededor del tema de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos, incluyendo su importancia desde el punto de vista socioeconómico y cultural. Con esta perspectiva, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM) fue convocada por el Secretario General de las Naciones Unidas, Kofi Annan, en el año 2000 y tuvo como objetivo evaluar las consecuencias de los cambios en los ecosistemas para el bienestar humano y las bases científicas para las acciones necesarias para mejorar la conservación y el uso sostenible de los mismos. La EM concluyó que, en los últimos 50 años, los seres humanos hemos transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro período de tiempo comparable de la historia humana, en gran parte para resolver rápidamente las demandas crecientes de alimento, agua dulce, madera, fibra y combustible, lo que

4 Una de las formas más comunes de cuantificar la biodiversidad actual es a través de la estimación de la cantidad de especies existentes. Hay grandes diferencias entre estos estimados, que pueden ir desde tres o cinco millones hasta incluso 50 millones de especies o más (Cox & Moore, 1999; May, 1988). Uno de los estudios más recientes sobre este tema, auspiciado por el Centro de Monitorización de la Conservación del Ambiente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y varios centros de investigación, predijo un total mundial de 8,7 millones de especies de eucariontes (i.e. organismos con núcleo celular diferenciado), de los cuales 2,2 millones son marinas. Si se considera que, en 250 años de clasificación biológica, se han catalogado 1,2 millones de especies, eso significaría que el 86% de las especies terrestres y el 91% de las especies marinas aún no han sido descritas (Mora et al., 2011).

5 Hay estudios que, con base en registros fósiles y modelos matemáticos, estiman que cerca del 99% de las especies que han habitado el planeta están ahora extintas (Newman & Palmer, 1999).

Cuadro 3.1
Categorías de servicios ecosistémicos

Categoría de servicio	Ejemplos
Servicios de aprovisionamiento: suministran productos que benefician directamente a las personas y que con frecuencia tienen un claro valor monetario.	• Alimentos. • Fibras (e.g. madera, algodón, seda). • Combustibles (e.g. madera, estiércol). • Recursos genéticos usados para la crianza de animales, el cultivo de plantas y la biotecnología. • Agua potable. • Medicinas naturales.
Servicios reguladores: son funciones suministradas por los ecosistemas a las que raramente se les asigna un valor económico.	• Regulación del clima (e.g. a través del secuestro y la emisión de gases de efecto invernadero). • Regulación de la erosión (e.g. a través de la cobertura vegetal del suelo). • Purificación del agua. • Tratamiento de los desechos. • Polinización. • Regulación de las enfermedades (debido a la abundancia de patógenos, como el del cólera, y de vectores, como el de la malaria). • Control de plagas del ganado y de los cultivos. • Protección ante desastres naturales, como huracanes y tsunamis (e.g. a través de la presencia de manglares y de arrecifes de coral).
Servicios culturales: son beneficios que obtienen las personas a través del enriquecimiento espiritual, el desarrollo cognitivo, la reflexión, la recreación y las experiencias estéticas.	• Valores espirituales y religiosos (e.g. en bosques sagrados). • Valores educacionales. • Sistemas de conocimiento (formales e informales). • Recreación. • Ecoturismo.
Servicios de apoyo: son aquellos que son necesarios para el funcionamiento de los otros tipos de servicios ecosistémicos. Difieren de los demás en el sentido de que sus impactos son indirectos o se producen a largo plazo.	• Formación del suelo. • Fotosíntesis. • Producción primaria (i.e. producción de materia orgánica a través de la fotosíntesis y de la quimiosíntesis). • Ciclos de los nutrientes (e.g. nitrógeno, fósforo). • Ciclo del agua.

Fuente: Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

ha generado una pérdida considerable y en gran medida irreversible de la diversidad de la vida en la Tierra (EM, 2005). Esta situación podría empeorar considerablemente durante la primera mitad del presente siglo y ser un obstáculo para la consecución de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, los cuales incluyen la seguridad alimentaria, la erradicación de la pobreza y una población más sana (Naciones Unidas, 2000).

Las conclusiones de la EM, que reúnen el trabajo de más de 1360 expertos de todo el mundo, incluyeron una categorización de los servicios ecosistémicos que se presenta en el cuadro 3.1.

La diversidad biológica es de vital importancia para las personas porque constituye el sostén de una gran variedad de estos servicios ecosistémicos, de los cuales han dependido siempre las sociedades humanas, aunque es común que esa importancia se subestime o se desconozca por completo. Cuando se pierden especies o variedad genética, los ecosistemas pierden a su vez capacidad de recuperación y los servicios que prestan se ven amenazados (Secretaría del CDB, 2010). Tanto el suministro, como la resiliencia[6] de los servicios ecosistémicos, son afectados por los cambios en la biodiversidad (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). En general, los entornos o medios más homogéneos y menos variados suelen ser más vulnerables a las presiones externas repentinas, como las enfermedades y las condiciones climáticas extremas.

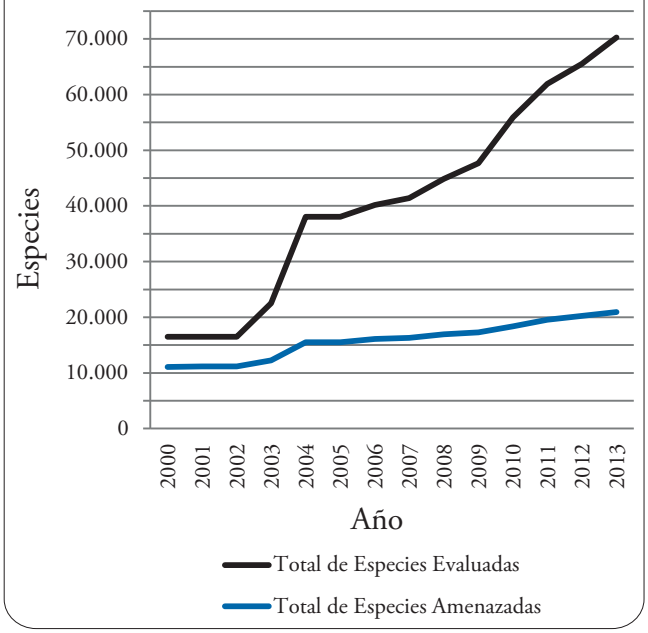
3.1.2 Evidencias de la pérdida de la biodiversidad a nivel global

La pérdida constante de la biodiversidad tiene, por tanto, importantes repercusiones para la sociedad actual y futura. Sin embargo, el ritmo actual de pérdida de la biodiversidad resulta alarmante. La extinción de especies es probablemente la forma más tangible de cuantificar este hecho. Según la última actualización de la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN, en inglés International Union for Conservation of Nature o IUCN), en la que fueron evaluadas 70.289 especies, el número actual de especies animales y vegetales extintas es de 860, de las cuales 799 especies están totalmente extinguidas y 61 sobreviven solamente en cautiverio o domesticadas (IUCN, 2013b). Si se compara con datos del 2004, el número de especies extintas habría aumentado en 16, lo que supone una pérdida del orden de dos especies por año en ese período (Baillie, Hilton-Taylor, & Stuart, 2004). Estos datos de la UICN muestran una tasa de extinción actual que es al menos dos, y probablemente tres órdenes de magnitud mayor que la tasa de extinción natural de la historia geológica del planeta (Vié, Hilton-Taylor, & Stuart, 2009). Otras investigaciones han llegado a estimar una tasa de extinción actual que es entre 1000 y 10000 veces mayor que la histórica

6 La resiliencia ecológica se refiere a la capacidad de un sistema de absorber perturbaciones, resistir presiones y recuperarse rápidamente de manera tal que conserve sus funciones, estructura e identidad (Walker, Holling, Carpenter, & Kinzig, 2004). Estas perturbaciones pueden ser ocasionadas por fenómenos naturales, como incendios forestales, inundaciones, tormentas, cambios de clima y también por actividades humanas, como la deforestación y la introducción de especies exóticas invasivas. Se considera que los ecosistemas más complejos – los que poseen mayor número de interacciones entre sus partes-, poseen resiliencias mayores, ya que cuentan con una mayor cantidad de mecanismos autoreguladores.

Gráfico 3.1

Cantidad de especies amenazadas en la Lista Roja de la UICN entre los años 2000 y 2013



Fuente: Informes anuales de la Lista Roja de la UICN (IUCN, 2013a).

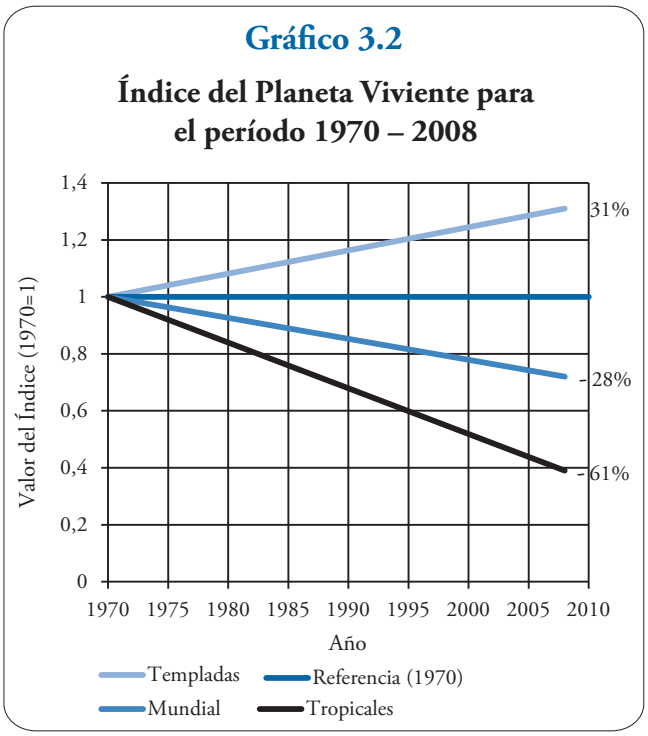
del planeta[7] (Levin & Levin, 2002; Pimm & Brooks, 1999; Pimm, Russell, Gittleman, & Brooks, 1995).

Además, del total de especies evaluadas en la última actualización de la Lista Roja, 20.930 están amenazadas por la extinción, incluyendo el 41% de los anfibios, el 25% de los mamíferos, el 13% de las aves y el 41% de las gimnospermas (entre las que se encuentran el 30% de los pinos y otras coníferas). En el Gráfico 3.1 se observa que el número de especies amenazadas, entre las que están las especies en peligro crítico, en peligro o vulnerables, casi se ha duplicado en una década. Esta tendencia está siendo causada por varios factores, como el fuerte incremento de las presiones a las que está sometida la biodiversidad y la ampliación del número de especies evaluadas por la UICN (IUCN, 2013b).

Otro indicador que demuestra la pérdida de la biodiversidad a nivel global es el Índice del Planeta Viviente (IPV), el cual mide el estado de la diversidad biológica global a partir de datos de poblaciones de vertebrados de todo el mundo. En su edición de 2012, la más reciente, el IPV fue alimentado con datos de 9.014 poblaciones de 2.688 especies de mamíferos, aves, reptiles, anfibios y peces de todo el planeta. El gráfico 3.2 presenta el cambio del tamaño de estas poblaciones a lo largo del tiempo hasta 2008, tomando como referencia el tamaño que tenían en 1970 (i.e. 1970 = 1). Un valor estable indicaría que no hay cambio global en la abundancia media de especies, condición necesaria, pero no suficiente, para indicar que se ha detenido la pérdida de la diversidad biológica.

El IPV global, representado en el Gráfico 3.2 por la línea de en medio, ha experimentado un descenso de un 28% desde 1970 hasta 2008, lo que sugiere que las poblaciones de especies vertebradas han disminuido cerca de un tercio por término medio en ese período. El IPV de las zonas tropicales (la línea inferior) indica un declive más pronunciado, de un 61%. El IPV de las zonas templadas indica un aumento de un 31%, lo que refleja la recuperación de algunas poblaciones de especies en las regiones

7 Esta diferencia podría deberse a ciertos sesgos bien conocidos en la Lista Roja, tales como falta de información, zonas del planeta pobremente representadas (la mayor parte de la información proviene de América del Norte) y escaso conocimiento de los procesos de extinción en ambientes marinos y dulceacuícolas (McCracken, 1988; Nuwer, 2012).



Fuente: Planeta Vivo. Informe 2012. Biodiversidad, biocapacidad y propuestas de futuro (WWF Internacional, Sociedad Zoológica de Londres, Red de la Huella Global, & Agencia Espacial Europea, 2012).

templadas tras declives considerables en un pasado más lejano. Este último dato no significa necesariamente que el estado de la biodiversidad en las regiones templadas sea mejor que en los trópicos, ya que el IPV muestra tendencias solo desde 1970 y gran parte de la alteración y destrucción de hábitats en las regiones templadas han ocurrido antes de esa fecha.

Otros indicadores de biodiversidad que muestran tendencias negativas son el estado de las aves del mundo (BirdLife International, 2013), las especies exóticas invasivas (UNEP-WCMC, 2013c), la extensión forestal (FAO & JRC, 2012; UNEP-WCMC, 2013a) y las extensiones de los manglares, las hierbas marinas y los arrecifes de coral (Alvarez-Filip, Dulvy, Gill, Côté, & Watkinson, 2009; FAO, 2007; UNEP-WCMC, 2013b; Waycott et al., 2009), para citar algunos.

A pesar de que resulta difícil proyectar este ritmo de pérdida de biodiversidad a escenarios futuros, varias estimaciones predicen cambios importantes en la biodiversidad y en los servicios ecosistémicos para 2050, año para el que una considerable cantidad de extinciones de especies habrá tenido lugar (Jenkins, 2003). Por ejemplo, una estimación del riesgo de extinción de aves, publicada por BirdLife International en 2000, concluyó que unas 350 especies de aves (cerca del 3,5% de la cantidad actual) podrían llegar a extinguirse en un plazo de 50 años y 1186 se extinguirían en 100 años (BirdLife International, 2000). En general, los escenarios para la biodiversidad global terrestre, dulceacuícola y marina, concuerdan en que esta continuará en declive a lo largo del siglo XXI, según criterios como cantidad de extinciones, cambios en la abundancia y cambios en los rangos de distribución geográfica de las especies (Pereira et al., 2010).

Estos patrones de pérdida de biodiversidad tienen consecuencias directas en los hábitats del planeta y en la forma de vida de los seres humanos. Dada la sobreexplotación de la biodiversidad marina (Pauly et al., 2003), los ecosistemas terrestres serían los que llevarían la mayor parte de la carga correspondiente a alimentar, vestir y albergar a una población humana en constante expansión. Esta carga adicional recaería en los países en vías de desarrollo localizados en los trópicos (Jenkins, 2003), la cual es, como ya se mencionó, el área en la que se concentra la mayor parte de la biodiversidad terrestre.

Se cuenta ahora con evidencia de que el impacto de la pérdida de la biodiversidad es comparable al de otros impulsores de cambio global, tales como la sequía, la radiación ultravioleta, el calentamiento global, el deterioro de la capa de ozono, la acidificación y el incremento de los niveles de CO2 (Cardinale et al., 2012). La comprensión de las interacciones entre la biodiversidad, los servicios ecosistémicos y las personas, resulta fundamental para una eventual reversión de estas tendencias y así salvaguardar el bienestar de las sociedades humanas (WWF Internacional et al., 2012).

3.1.3 Reacción de los líderes del mundo ante la problemática de la biodiversidad

Ante el reconocimiento cada vez mayor de la biodiversidad como bien mundial de valor inestimable para la supervivencia de las generaciones presentes y futuras, y la preocupación por su considerable reducción por causa de algunas actividades humanas, el CDB fue abierto para firmas durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en 1992 y conocida también como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro. Los tres objetivos principales del Convenio son: la conservación de la biodiversidad, el uso sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios resultantes de la utilización de los recursos genéticos (Naciones Unidas, 1992). El CDB es un tratado internacional de carácter vinculante y el primero que cubre todos los aspectos de la biodiversidad: especies, ecosistemas y recursos genéticos. Es también el primero en reconocer que la «conservación de la diversidad biológica es interés común de toda la humanidad» y una parte integral del proceso de desarrollo. En la actualidad, 193 partes (192 países y la Unión Europea) están adscritas al CDB (Secretaría del CDB, 2013).

Los acuerdos alcanzados en La Cumbre de Río incrementaron el interés mundial en comprender como la pérdida de la biodiversidad puede afectar la dinámica y el funcionamiento de los ecosistemas. En 2002, 10 años después de la cumbre, y en el marco de la sexta reunión de la Conferencia de las Partes (en inglés, Conference of Parties o COP) del CDB realizada en La Haya y de la Cumbre de la Tierra de Johannesburgo, los líderes del mundo acordaron «lograr para el año 2010 una reducción significativa del ritmo actual de pérdida de biodiversidad a nivel mundial, regional y nacional, como contribución a la reducción de la pobreza y en beneficio de todas las formas de vida en la Tierra». Se estableció a su vez que el Convenio se evaluaría a partir de la aplicación de las estrategias y planes de acción nacionales y de otras actividades nacionales, regionales e internacionales (Pnuma, CDB, & COP, 2002).

En 2010, el CDB evaluó los avances y determinó que la meta fijada en 2002 no fue cumplida y que no se puede afirmar que se haya logrado en el plano mundial ninguna de las 21 submetas propuestas (Secretaría del CDB, 2010). Pese a la intensificación de los esfuerzos de conservación en algunos países, la biodiversidad sigue deteriorándose debido al aumento constante de las presiones a las que está sometida, las cuales se agrupan en cinco grandes categorías que se presentan en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2
Principales presiones actuales sobre la biodiversidad

Presión	Descripción
Pérdida y degradación de los hábitats	En el caso de los ecosistemas terrestres, la principal causa es la conversión de tierras silvestres para usos agrícolas. En los ecosistemas de aguas continentales, es el uso insostenible del agua y el drenaje destinado a la conversión de la tierra para otros usos, como la agricultura y los asentamientos. En los ecosistemas costeros, se incluyen algunas formas de maricultura, como los criaderos de camarones.
Cambio climático	La temperatura media del planeta ha aumentado 0,74 ºC en relación con los niveles previos al desarrollo de la industria. Además, se están produciendo graves efectos negativos, como la acidificación de los océanos, la reducción de la extensión, antigüedad y grosor del hielo ártico, una mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos o la variación de la periodicidad de la floración, de los patrones de migración y de la distribución de las especies.
Contaminación y carga de nutrientes	Los procesos industriales modernos, como la quema de combustibles fósiles y las prácticas agrícolas (uso de fertilizantes) han duplicado la cantidad de nitrógeno reactivo en comparación con las épocas preindustriales. En los ecosistemas terrestres, se han producido cambios significativos en la composición vegetal, lo que influye gravemente en la biodiversidad vegetal y animal. En los ecosistemas costeros, la acumulación de fósforo y nitrógeno estimula el crecimiento de algas y bacterias, hecho que reduce la calidad del agua y crea zonas muertas carentes de vida por el agotamiento del oxígeno, poniendo en peligro los valiosos servicios que prestan los ecosistemas de lagos y océanos.
Sobreexplotación y utilización insostenible	La sobreexplotación y las prácticas de cosecha destructivas han alcanzado niveles insostenibles. Según la FAO, la sobreexplotación pesquera ha provocado que más de un cuarto de las poblaciones de peces marinos estén sobreexplotadas (19%), agotadas (8%) o recuperándose del agotamiento (1%), mientras que más de la mitad están totalmente explotadas. La caza de animales silvestres ha causado en algunos bosques que gozan de buena salud el "síndrome del bosque vacío", lo que tiene un grave efecto en la recuperación de los ecosistemas forestales, al carecer prácticamente de vida animal que disperse las semillas de las plantas.

Especies exóticas invasoras	Los indicios muestran que esta presión va en aumento. En una muestra de 57 países, se encontraron más de 542 especies exóticas cuyas repercusiones en el medio ambiente se han comprobado, entre ellas, plantas vasculares, peces marinos y de agua dulce, mamíferos, aves y anfibios, con un promedio de más de 50 de esas especies por país (y una variación que va de nueve a más de 220). Se ha estimado que de cerca de 11.000 especies exóticas en Europa, una de cada diez tiene impactos ecológicos y una proporción ligeramente mayor produce daños económicos. Las pautas del comercio mundial indican que el panorama europeo es similar al del resto del mundo.
Presiones combinadas	Las presiones o impulsores directos descritos anteriormente no actúan de manera aislada sobre la biodiversidad y los ecosistemas, sino que frecuentemente una de las presiones exacerba los efectos de la otra. Además, existen impulsores indirectos, que actúan sobre la biodiversidad por medio de influir sobre la cantidad de recursos que utilizan las sociedades humanas, entre ellos, el crecimiento demográfico o el aumento de la actividad económica o del consumo per cápita. Un indicador de la magnitud de las presiones que ejercemos sobre la biodiversidad es la huella ecológica de la humanidad, la cual excedió la capacidad biológica de la Tierra en un 40% en 2006 (último año sobre el que se conoce la cifra).

Fuente: Perspectiva Mundial sobre la Biodiversidad 3 (Secretaría del CDB, 2010).

El CDB señaló también que hay múltiples indicios de la continua pérdida de los tres componentes principales de la biodiversidad: genes, especies y ecosistemas. Más aún, «las actividades destinadas a promover la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad reciben un porcentaje ínfimo de financiación, si se comparan con las actividades que apuntan a fomentar el desarrollo industrial y de infraestructura. Asimismo, cuando se proyecta ese tipo de desarrollo, no suelen tenerse en cuenta los aspectos relacionados con la biodiversidad, por lo que se desperdician oportunidades de planificación para reducir al mínimo las repercusiones negativas innecesarias que la afectan. De igual manera, han sido limitadas las medidas para abordar de modo significativo los impulsores que llevan a la pérdida de la biodiversidad, los cuales incluyen las presiones demográficas, económicas, sociopolíticas y culturales» (Secretaría del CDB, 2010).

La décima reunión de la COP, celebrada en 2010 en Nagoya, Prefectura de Aichi, Japón, en su decisión X/2 adoptó para el período 2011-2020 un Plan Estratégico para la Diversidad Biológica revisado y actualizado. Este nuevo plan será el marco global para la biodiversidad

en todo el sistema de las Naciones Unidas e incluye las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica (Pnuma, CDB, & COP, 2010). Estas 20 metas están distribuidas en cinco objetivos estratégicos, que buscan apoyar durante esta década la implementación de los principales objetivos del CDB y que se presentan en el Cuadro 3.3.

La agenda mundial en temas ambientales requiere de la comprensión integral de la biodiversidad en todos sus niveles y dimensiones, desde los genes hasta los ecosistemas, así como de la capacidad de estimar el impacto de las acciones humanas. Sin embargo, nuestro conocimiento de la biodiversidad es aún muy reducido y centrado en unos pocos grupos taxonómicos, como los animales vertebrados y las plantas, mientras que otros grupos, como las bacterias, que contienen la gran mayoría de las especies, son prácticamente desconocidos. Muchas de las maneras en las que interactúan todas estas formas de vida están aún por conocerse también. A pesar de estas limitaciones, hay una gran cantidad de información que podría utilizarse, pero que no está en los formatos adecuados o no es compartida por sus autores y custodios. Se estima, por ejemplo, que más de 1.000 millones de especímenes de animales, plantas, hongos y microorganismos han sido

Cuadro 3.3
Objetivos estratégicos de Aichi para la Biodiversidad

La visión de las metas de Aichi es que "Para 2050, la diversidad biológica se valora, conserva, restaura y utiliza en forma racional, manteniendo los servicios de los ecosistemas, sosteniendo un planeta sano y brindando beneficios esenciales para todos."

Esta visión se pretende alcanzar a través de cinco objetivos estratégicos, que incluyen 20 metas individuales. Los objetivos son:

- ***Objetivo estratégico A***: Abordar las causas subyacentes de la pérdida de diversidad biológica mediante la incorporación de la diversidad biológica en todos los ámbitos gubernamentales y de la sociedad.
- ***Objetivo estratégico B***: Reducir las presiones directas sobre la diversidad biológica y promover la utilización sostenible.
- ***Objetivo estratégico C***: Mejorar la situación de la diversidad biológica salvaguardando los ecosistemas, las especies y la diversidad genética.
- ***Objetivo estratégico D***: Aumentar los beneficios de la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas para todos.
- ***Objetivo estratégico E***: Mejorar la aplicación a través de la planificación participativa, la gestión de los conocimientos y la creación de capacidad.

Fuente: Las Metas de Aichi para la diversidad biológica (Secretaría del CDB, n.d.).

recolectados, preservados y depositados en los herbarios y museos de historia natural del mundo (Beaman, Wieczorek, & Blum, 2004), los cuales, además de constituir la materia prima para los estudios de taxonomía y sistemática, proporcionan información indispensable en áreas como conservación, manejo de recursos naturales, agricultura e ingeniería forestal. Solamente una pequeña fracción de estos datos se ha digitalizado y colocado en sistemas de información en la Internet, para que estén públicamente disponibles[8].

Los avances en TIC han mejorado nuestra capacidad de almacenar, procesar e interpretar datos e información a través de herramientas como las bases de datos, los sistemas de información geográfica (SIG), los sensores remotos y la Web semántica, por nombrar algunas. Si se contara con una infraestructura informática que permitiera integrar todos los datos de ocurrencias de especies (e.g. especímenes y observaciones), junto con sus secuencias de ADN, las condiciones ambientales en las cuales se desarrollan (e.g. temperatura, precipitación), las relaciones interespecíficas y todos los demás aspectos de la diversidad biológica, los científicos tendrían una base mucho más sólida para desarrollar modelos que expliquen el funcionamiento de los ecosistemas y que apoyen las decisiones orientadas a reducir la pérdida de la biodiversidad.

8 La base de datos de GBIF (Global Biodiversity Information Facility), el mayor repositorio mundial de datos de ocurrencias de especies, contiene cerca de 85.000 registros de especímenes (GBIF, 2013b), que representarían menos del 10% del total disponible, si se toman como referencia los 1.000 millones mencionados arriba.

Se espera que las TIC sean un importante apoyo para la consecución de los objetivos de Aichi y, en particular, suponen la piedra angular de los esfuerzos para alcanzar la meta 19 del objetivo estratégico E: «Para 2020, se habrá avanzado en los conocimientos, la base científica y las tecnologías referidas a la diversidad biológica, sus valores y funcionamiento, su estado y tendencias y las consecuencias de su pérdida, y tales conocimientos y tecnologías serán ampliamente compartidos, transferidos y aplicados» (Secretaría del CDB, n.d.).

3.2 LA BIODIVERSIDAD DE COSTA RICA

Costa Rica se cataloga entre los países más ricos del mundo en biodiversidad y comparte cerca del 80% de su riqueza biológica con el resto de los países de América Central (Obando & Herrera, 2010), los cuales, junto con México, conforman Mesoamérica, una región considerada megadiversa y un hotspot de biodiversidad (Myers et al., 2000). A pesar de tener una extensión territorial de solo 51.100 km^2, que corresponden a un 0,03% del total mundial, y una extensión marítima de solo 568.000 km^2, que representa el 0,16% de los océanos del planeta, se estima que Costa Rica alberga un 3,6% de las especies esperadas para la Tierra. Esta riqueza se debe principalmente a su posición geográfica en el neotrópico, su historia geológica –al formar parte del puente entre dos masas continentales–, sus dos costas y un sistema montañoso que provee numerosos y variados microclimas (Obando, 2007). Algunas otras cifras relevantes con respecto a la riqueza

biológica de Costa Rica son (Inbio, 2013; Obando, 2007; Sinac, 2009):

- El número total de especies descritas para Costa Rica es cercano a las 95.000. Esto supone el 4,75% de las especies descritas en el mundo.
- Costa Rica está entre los 20 países con más alta diversidad de especies, expresada en número total de especies, como se muestra en el Cuadro 3.4. Se sitúa además entre los nueve países del planeta con una diversidad extremadamente alta de organismos en sus ecosistemas boscosos. Si se considera la relación entre el número de especies y el área del país, Costa Rica figura entre los países con mayor densidad de especies, como se muestra en el Cuadro 3.5.
- Al igual que en el resto del mundo, las plantas y los vertebrados son los grupos mejor conocidos. En plantas, el porcentaje de especies descritas es cercano al 95% del total estimado y en aves se sobrepasó el número esperado. En peces de agua dulce este porcentaje es del 100%. El grupo menos conocido de los vertebrados es el de los peces marinos.
- Es en las especies marinas, en los invertebrados y en los microorganismos donde se cree que está la mayor riqueza, pero son los grupos menos conocidos. Las especies de zonas altas son poco conocidas también.
- El conocimiento sobre la diversidad genética existe solamente para algunas especies vegetales con usos conocidos.

Cuadro 3.4
Primeros lugares de países megadiversos con mayor número de especies descritas de plantas y vertebrados en el mundo y lugar aproximado que ocupa Costa Rica

GRUPO	Primer Lugar	Segundo Lugar	Tercer Lugar	Cuarto Lugar	Quinto Lugar	COSTA RICA
Plantas	Brasil	Colombia	China	Indonesia	México	N° 17
	55,000	50,000	30,000	27,500	26,000	11,467
Anfibios	Colombia	Brasil	Ecuador	Perú	México	N°13
	585	502	402	315	290	189
Reptiles	Australia	México	Indonesia	Colombia	Brasil	N° 20
	867	704	511	475	468	234
Mamíferos	Indonesia	México	Colombia	USA	Brasil	N°32
	515	491	453	428	421	237
Aves	Colombia	Perú	Brasil	Ecuador	Indonesia	N° 24
	1,753	1,678	1,635	1,559	1,534	854

Fuentes: Biodiversidad de Costa Rica en cifras (Obando, 2007) , IV Informe de País al Convenio sobre la Diversidad Biológica (SINAC, 2009).

Cuadro 3.5
Número de especies conocidas de plantas y vertebrados por cada 1.000 Km2 en países megadiversos y en Costa Rica

PAÍS	Plantas	Aves	Reptiles	Mamíferos	Anfibios	Extensión (km²)	Nº Veces Mayor que Costa Rica
Costa Rica	234,8	16,8	4,4	4,7	3,6	51,100	
México	13,2	0,5	0,4	0,2	0,1	1.972.547	38,6
Colombia	43,8	0,0	0,0	0,0	0,5	1.141.748	22,3
Brasil	6,5	0,0	0,1	0,05	0,06	8.511.965	166,6
Indonesia	14,3	0,8	0,3	0,3	0,1	1.919.270	37,6
Australia	3,3	0,1	0,1	0,05	0,03	7.686.849	150,4

Fuentes: Biodiversidad de Costa Rica en cifras (Obando, 2007) , IV Informe de País al Convenio sobre la Diversidad Biológica (SINAC, 2009).

3.2.1 Marco institucional y legal para la conservación de la biodiversidad en Costa Rica

El Ministerio de Ambiente y Energía (Minae) es el órgano rector en materia de gestión de la biodiversidad en Costa Rica y ejerce esta función a través del Sistema Nacional de Áreas de Conservación (Sinac), organización responsable de la conservación y promoción del uso sostenible de la biodiversidad del país. Territorialmente, el Sinac está dividido en once áreas de conservación, que abarcan la totalidad del país. Otros actores importantes en materia de biodiversidad son las universidades estatales, el Museo Nacional de Costa Rica (MNCR) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). En el ámbito privado, varias instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales (ONG) han apoyado al gobierno en las tareas de investigación y conservación. El país cuenta también con más de 300 organizaciones conservacionistas que, en mayor o menor grado, complementan su labor con la del Sinac (García, 2002).

Además, Costa Rica ha desarrollado un marco legal muy heterogéneo que regula la gestión de la biodiversidad. Este marco incluye temas tanto socioeconómicos y culturales como científico-técnicos y de gestión en general. Algunas de las normas más relevantes son las siguientes (Inbio, 2000):

- Ley de Parques Nacionales. N0 6084, de 1977.
- Ley de Creación del Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (Mirenem). N0 7152, de 1990 (aunque inició funciones en 1986, por decreto).
- Ley de Conservación de la Vida Silvestre. N0 7317, de 1992.
- Ley Orgánica del Ambiente. N0 7554, de 1995. Se cambió el nombre del Mirenem por el de Minae; se creó la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (Setena), la Contraloría Ambiental

y el Tribunal Ambiental; se le da impulso a la agricultura orgánica, entre otros esfuerzos.

- Ley Forestal. N0 7575, de 1996 (la primera fue de 1969, N0 4465). Se estableció el pago por servicios ambientales y se creó el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (Fonafifo), encargado de manejar los fondos para este pago.
- Ley de Biodiversidad. N0 7788. De 1998. Regula el acceso a los recursos genéticos y fortalece al Sinac, entre otros aspectos.

El CDB, además de ser ley por sí mismo, ha tenido su expresión nacional en la Ley de Biodiversidad, que trata de adaptarlo a la realidad local. Como resultado de los esfuerzos para cumplir con el CDB y la Ley de Biodiversidad, en el período 1997-1999 se desarrolló la Estrategia Nacional de Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad (ENB), mediante un proceso altamente participativo a escala nacional y en las áreas de conservación (Inbio, 2000; Minae, 2000). La ENB es un marco orientador de las políticas nacionales, basado en la trilogía «salvar, conocer y usar», piedra angular de la Estrategia Mundial de Conservación de 1992 y del CDB. La ENB es el resultado de la integración de las necesidades locales por área de conservación, cada una de las cuales cuenta con su propia estrategia. Siguiendo esta misma metodología y como temas que se complementan muy bien, el Minae-Sinac desarrolló en forma casi paralela la Estrategia Nacional de Investigación y la Estrategia de Educación Ambiental; en estos aspectos cada área posee también su estrategia respectiva (Inbio, 2000).

3.2.2 Situación de los indicadores para medir el estado de la biodiversidad de Costa Rica

Según el IV Informe de País al CDB, existe en la sociedad costarricense «cierto grado de conciencia ambiental», desarrollada por los procesos educativos a todo nivel, pero especialmente en la educación primaria, secundaria e informal, con el apoyo de diferentes ONG a lo largo de muchos años y de los medios de comunicación masiva, especialmente en la última década. Esto ha promovido y mantenido de alguna forma un marco legal y de políticas sectoriales e intersectoriales que fomentan la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad, mediante diversos mecanismos innovadores como, por ejemplo, el Programa de Pago por Servicios Ambientales (PPSA), el Certificado de Sostenibilidad Turística (CST) y otros que promueven la participación ciudadana (Sinac, 2009). También son dignos de mención la intención de convertirse en el primer país carbono neutral (Lovgren, 2008), el Programa Bandera Azul Ecológica (Comisión Nacional del Programa Bandera Azul Ecológica, n.d.) y el Programa Costa Rica por Siempre, este último enfocado al fortalecimiento de las Áreas Silvestres Protegidas (ASP) con miras al cumplimiento de las metas de Aichi (Asociación Costa Rica por Siempre, 2013).

Sin embargo, otros informes que tratan el tema ambiental, como el del Estado de la Nación y su investigación de base en materia de conservación y biodiversidad, señalan entre otros factores negativos que (Corrales, 2012; Programa Estado de la Nación, 2012):

- En 2011 cada costarricense utilizó un 8% más del territorio disponible para satisfacer su demanda de recursos naturales. Las emisiones de carbono son la principal causa de esa brecha y representan un 27% de la huella ecológica total.
- No se aprecia un esfuerzo significativo en la reducción del uso de plaguicidas agrícolas.
- La Contraloría General de la República (CGR) afirmó que los esfuerzos por parte del Sinac para la protección de los humedales Ramsar son insuficientes para consolidar y garantizar su conservación, a pesar de contar desde hace 20 años con las regulaciones necesarias. La CGR reportó también que varios humedales sufren de afectación por actividades agrícolas vecinas y de altos niveles de contaminación fecal.
- Hay irregularidades por procesos constructivos en varias ASP o en sus cercanías.

Además, el mencionado informe de país al CDB afirma que los datos disponibles muestran que en Costa Rica hay pérdida de biodiversidad en grado variable y en magnitud aún no determinada debido a la falta de estudios, de indicadores de medición y de sistematización de la información. Los indicadores proporcionados como guía por el CDB que fueron analizados para el país, con información en general cualitativa y no exhaustiva son, en su mayoría, buenos, pero también incompletos (e.g. sin datos cronológicos). En muchos casos, hay que mejorar el indicador, se dispone de datos limitados, o ambas cosas.

La falta de datos e indicadores adecuados para conocer el estado de la biodiversidad en Costa Rica fue ratificada en el año 2011 por la CGR (CGR, 2011). El ente contralor realizó una auditoría para evaluar la efectividad del Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (Minaet[9]), el Sinac y la Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad (Conagebio), en la instauración de regulaciones, mecanismos y prácticas para determinar y divulgar el estado de conservación de la biodiversidad. La evaluación se efectuó principalmente en las ASP del país. Entre los principales resultados de esta auditoría destacan:

Se determinó que en Costa Rica no se ha evaluado en forma periódica ni sistemática el estado de conservación de la biodiversidad. Las razones de ello están en que el marco regulatorio costarricense para el manejo del recurso abarca de forma dispersa los lineamientos para ese fin, sin que se pueda desprender una ordenación clara en términos de enfoque, metodología, periodicidad de aplicación, productos esperados, interpretación y utilización de resultados.

No se han elaborado las políticas para la conservación, el uso ecológicamente sostenible y la restauración de la biodiversidad, y no se ha actualizado la ENB, ambos instrumentos previstos para el manejo de este recurso en el país.

Se presenta un retraso en la consolidación del programa nacional de monitoreo de la biodiversidad, puesto que no se logró realizar un análisis integral del conjunto de indicadores diseñados para divulgar

9 Ahora llamado Ministerio de Ambiente y Energía (Minae).

un primer informe del estado de este recurso al 2010. Otros esfuerzos de monitoreo son realizados por las áreas de conservación pero de forma aislada, presentando debilidades en la periodicidad, falta de protocolos de implementación y de divulgación de la información.

En general, no se han rendido cuentas acerca de la situación y los factores de amenaza a la biodiversidad.

No se han establecido los parámetros necesarios para clasificar los ecosistemas y asociar las correspondientes medidas de mitigación, control, restauración, recuperación o rehabilitación de la biodiversidad, ni tampoco se ha establecido una metodología para revisar y actualizar las listas nacionales de especies vulnerables en el país.

La investigación en biodiversidad no cuenta con prioridades actualizadas ni con un sistema de información que permita recopilar, sistematizar, resumir y presentar la información asociada a este recurso derivada del monitoreo y de la investigación, en formatos adecuados para los distintos tipos de usuarios.

Al ahondar en el tema de la falta de sistemas de información, el informe de la CGR señala también que faltan protocolos para la sistematización de datos que aseguren su actualización periódica y un nivel de calidad adecuado. Se constató que mucha de la información generada se maneja en formatos que ponen en peligro su seguridad e integridad (e.g. hojas electrónicas).

3.3 LA INFORMÁTICA PARA LA BIODIVERSIDAD

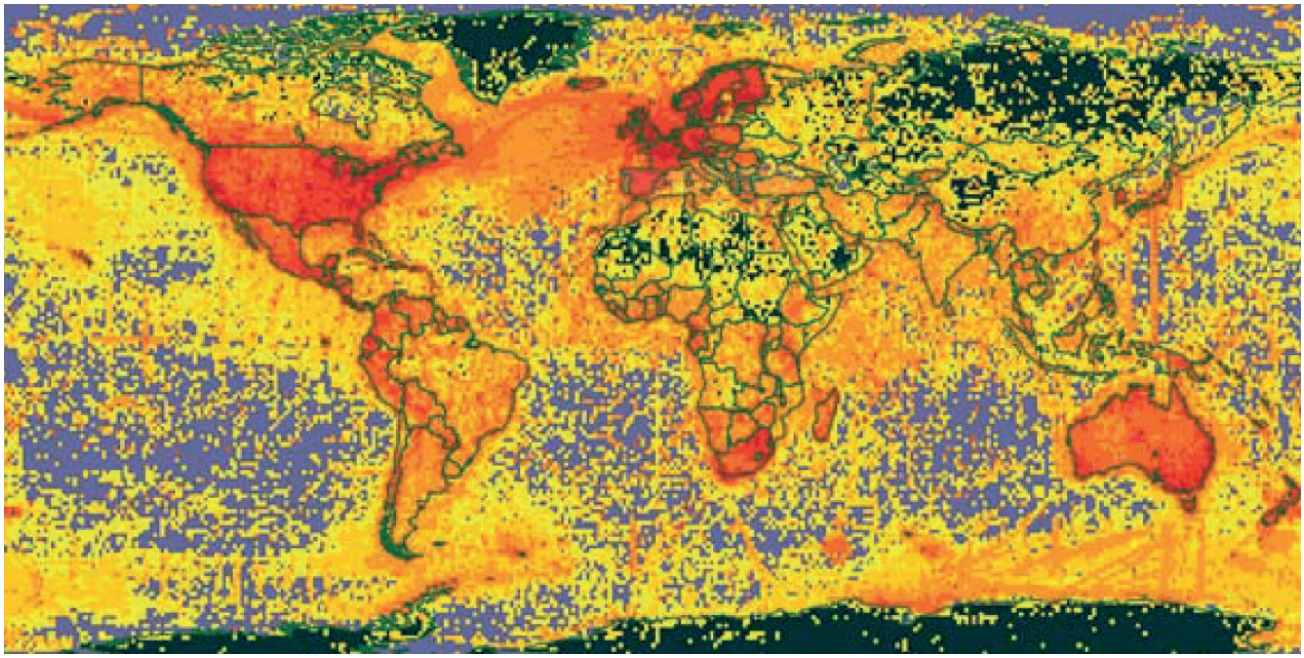
Una de las principales razones por la que los gobiernos del mundo fallaron en su intento por reducir el ritmo de pérdida de la biodiversidad para el año 2010 fue la falta de información (Hobern et al., 2013). La emergente área de conocimiento, conocida como informática para la biodiversidad[10], pretende llenar este vacío mediante la aplicación de las TIC al manejo, análisis e interpretación de datos de biodiversidad.

La informática para la biodiversidad es una disciplina relativamente nueva. El término se usó por primera vez en la década de 1990 (A. T. Peterson, Guralnick, Soberón, Knapp, & Holder, 2010) y desde sus inicios ha tenido como uno de sus objetivos la superación de las barreras que existen entre científicos y tomadores de decisiones en materia de administración de recursos biológicos (Graham, Ferrier, Huettman, Moritz, & Peterson, 2004; Schalk, 1998; Schnase, 2000). Su surgimiento ha sido motivado por la disponibilidad de nuevas tecnologías y de grandes cantidades de datos. Por ejemplo, el Sistema Mundial de Información sobre Biodiversidad (en inglés, Global Biodiversity Information Facility o GBIF), ofrece acceso libre y gratuito a más de

10 Cabe mencionar que en la actualidad se prefiere el término bioinformática para referirse a las aplicaciones computacionales en el nivel de genes y de proteínas, mientras que la informática para la biodiversidad se ocupa preferencialmente de los niveles de especies y de organismos (Soberón & Peterson, 2004).

Figura 3.2

Densidad de registros de ocurrencias de especies publicados a través de GBIF en 2012*



Fuente: GBIF Annual Report 2012 (GBIF, 2013a).

400 millones de registros de datos primarios[11] de casi un millón y medio de especies provenientes de museos de historia natural, herbarios y otros centros de investigación de todo el mundo (GBIF, 2013c). Un 85% de estos registros cuenta con coordenadas geográficas que permiten analizar los datos desde el punto de vista geoespacial, como se muestra en la Figura 3.2. Los colores muestran la concentración de datos en áreas como América del Norte y Europa, que no son las más ricas en biodiversidad, al contrario de otras, como las intertropicales que, en algunos casos, aparecen con densidades mucho más bajas. Esto muestra la escasa información con que se cuenta para muchas zonas biodiversas (GBIF, 2013a).

Unido a los avances tecnológicos, un giro en las políticas de acceso a los datos de biodiversidad por parte de sus autores y custodios hacia modalidades mucho más abiertas, ha permitido el surgimiento de un cambio revolucionario en la manera en que la información sobre biodiversidad está siendo creada, mantenida y utilizada (Soberón & Peterson, 2004).

11 Los datos primarios de biodiversidad son textos digitales o registros de datos multimediales que detallan hechos acerca de la ocurrencia de un organismo: la especie a la que pertenece, así como la fecha y el lugar en el que fue observado o recolectado, entre otros (GBIF, 2010).

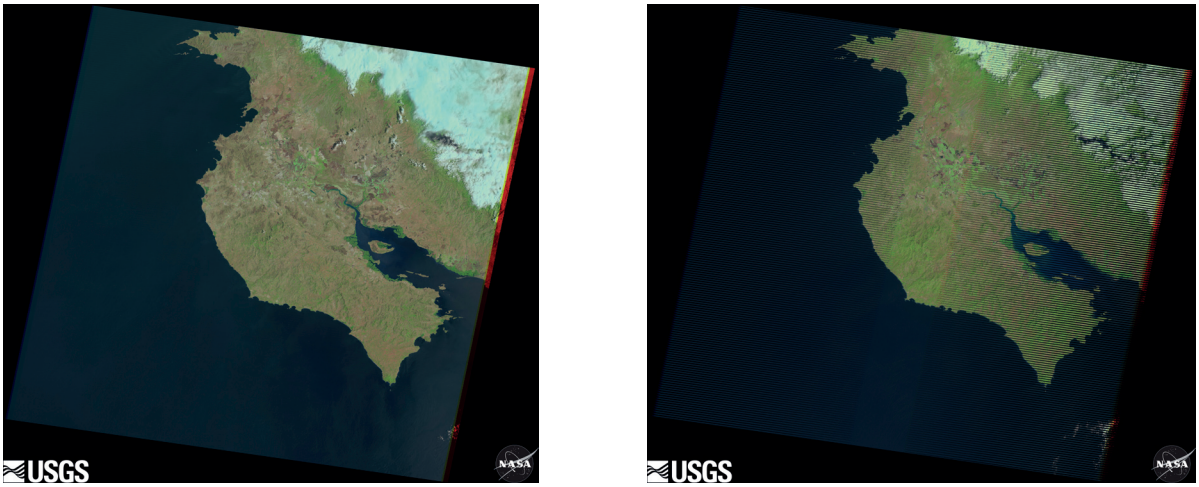
Licencias de derechos de autor, como Creative Commons (CC) y Open Data Commons Open Database License (ODBL), permiten compartir conocimiento con el público en general, según los términos particulares de cada autor o custodio de información y respetando la propiedad intelectual de los creadores (Hagedorn et al., 2011; Hietanen, 2008; Higashi, 2013), lo que ha facilitado la publicación en línea de grandes repositorios distribuidos en los que los usuarios pueden consultar, visualizar y descargar libremente datos primarios de presencia de especies. Algunos de los más grandes de estos repositorios incluyen el ya mencionado GBIF (en http://www.gbif.org/), la Red Interamericana de Información sobre Biodiversidad (Inter-American Biodiversity Information Network o Iabin en http://www.oas.org/en/sedi/dsd/iabin/), el Atlas de Australia Viviente (Atlas of Living Australia o ALA, en http://www.ala.org.au/), el Sistema de Información Biogeográfico del Océano (Ocean Biogeographic Information System u OBIS, en http://www.iobis.org/), la red de información sobre vertebrados VertNet (en http://portal.vertnet.org/) y la red de información sobre peces FishNet2 (en http://www.fishnet2.net/), entre otros.

Con el fin de estudiar los patrones y tendencias de la biodiversidad, los científicos deben correlacionar estos datos primarios con variables ambientales que influyen en su distribución espacial, tales como el clima, la topografía, el suelo y la historia geológica. La disponibilidad de este tipo de datos ha crecido exponencialmente gracias a tecnologías como la teledetección[12]. A manera de ejemplo, la familia de satélites Landsat de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (en inglés, National Aeronautics and Space Administration o NASA) y del Servicio Geológico de Estados Unidos (en inglés, United States Geological Survey o USGS) ha tomado periódicamente imágenes de toda la superficie de la Tierra desde 1972 hasta hoy, proporcionando así un registro invaluable del estado y la dinámica de nuestro planeta. Gracias a una redefinición de las políticas de datos efectuada en 2008, todas las imágenes Landsat están ahora disponibles libremente a través de Internet. Los archivos de Landsat reconstruyen la historia de cómo la cobertura de la superficie de la Tierra y sus ecosistemas han cambiado en los últimos 40 años ante presiones como el incremento de la población humana, sus demandas de recursos y el cambio climático (Masek, Cohen, Wulder, Loveland, & Woodcock, 2012). El miembro más reciente de la serie Landsat, el satélite Landsat 8, fue lanzado el 11 de febrero de 2013 y tiene como

12 La teledetección o detección remota (en inglés, remote sensing) es la adquisición de información a pequeña o gran escala acerca de un objeto o fenómeno sin llegar a tener contacto físico con el mismo. En la práctica, la teledetección se realiza percibiendo energía reflejada o emitida ya sea por el sol, un fenómeno natural o un instrumento artificial y registrando la información relacionada. Los sensores remotos que captan la información suelen usar instrumentos de grabación o de escaneo inalámbrico que se encuentran a bordo de astronaves, satélites, aviones, boyas o barcos, entre otros. Posteriormente, esta información se corrige, empaqueta y analiza para que ayude a entender problemas de interés (e.g. deforestación, impacto del cambio climático, incendios forestales).

Figura 3.3

Dos imágenes Landsat que muestran los cambios en la cobertura de la tierra en el área de Guanacaste, Costa Rica*



1985 **2013**

Fuente de las imágenes: EarthExplorer (USGS, 2013).

misión recolectar 400 imágenes diarias con una resolución de 30 x 30 m cada una. Cada punto del planeta es muestreado por el satélite cada 16 días. Todos los datos son de dominio público y están disponibles en varios portales como EarthExplorer (http://earthexplorer.usgs.gov/), Glovis (http://glovis.usgs.gov/) y Reverb (http://reverb.echo.nasa.gov). En la Figura 3.3 se muestran dos imágenes Landsat para la zona de Guanacaste, Costa Rica, obtenidas en el portal EarthExplorer de USGS, que permiten apreciar los cambios en la cobertura de la tierra en esa zona. Puede apreciarse a simple vista un notable aumento en la cobertura boscosa debido probablemente a factores políticos, como el establecimiento de nuevas ASP en la zona y la aplicación del PPSA, así como a fenómenos socioeconómicos, como la influencia del turismo y el abandono de tierras dedicadas a la ganadería por causa del bajo precio de la carne en los mercados internacionales (Fundecor, 2010).

Existen otros instrumentos de teledetección cuyos datos están en el dominio público, entre los que pueden mencionarse el Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (Modis), el Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (Aster), el Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) y el Advanced Very High Resolution Radiometer (Avhrr). Otros sitios, como Worldclim (http://worldclim.org/) y Harmonized World Soil Database (HWSD, http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/) también recopilan y publican información ambiental que puede correlacionarse con datos de biodiversidad.

3.3.1 Iniciativas mundiales de Informática para la Biodiversidad

La oferta de información y datos de biodiversidad, y de otros temas relacionados, está apoyada por varias iniciativas internacionales, las cuales se nutren, por lo general, de esfuerzos nacionales o regionales que son posteriormente integrados, compartidos y presentados en varios formatos y protocolos. Algunas de las más importantes de estas iniciativas se describen brevemente en el Cuadro 3.6.

3.3.2 Aplicaciones de los datos de Biodiversidad

Para comprender la forma en la que la biodiversidad se distribuye en el tiempo y en el espacio, los científicos acostumbran correlacionar datos de ocurrencias de especies con datos ambientales, como los descritos arriba, con el fin de generar modelos de nichos ecológicos o de distribuciones geográficas de especies. Estas técnicas toman los dos conjuntos de datos (i.e. ocurrencias y variables ambientales), como parámetros de entrada de

Cuadro 3.6
Principales iniciativas globales de Informática para la Biodiversidad

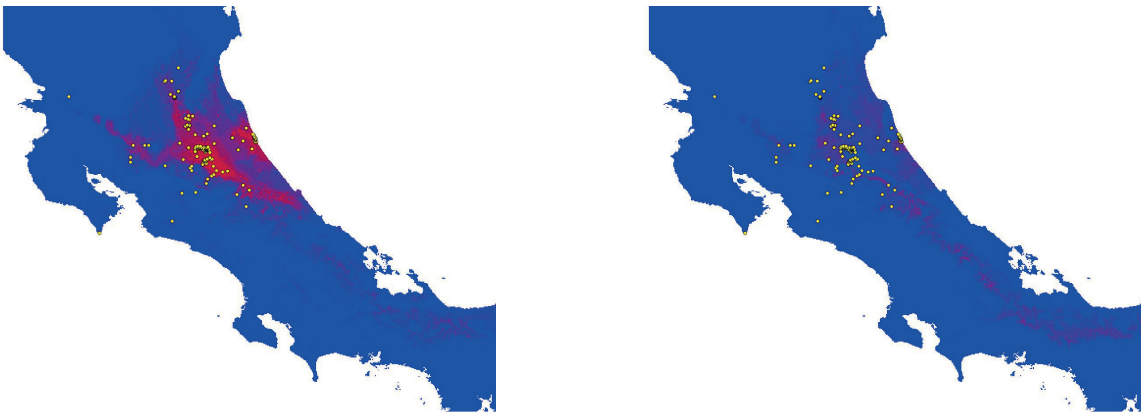
Iniciativa	Descripción
Biblioteca del Patrimonio de la Biodiversidad (en inglés, Biodiversity Heritage Library o BHL). Disponible en http://www.biodiversitylibrary.org/.	Consorcio de bibliotecas de historia natural y botánicas que cooperan para digitalizar y hacer accesible la literatura de biodiversidad a una audiencia global a través de los principios de libre acceso. BHL ha digitalizado millones de páginas de literatura taxonómica, decenas de miles de títulos y más de 100.000 volúmenes, además de servir como componente fundamental de la Enciclopedia de la Vida (EoL).
Catálogo de la Vida (en inglés, Catalogue of Life o CoL). Disponible en http://www.catalogueoflife.org/.	Índice global más completo e íntegro de las especies de la Tierra disponible en la actualidad. Consta de una sola lista de especies de jerarquía taxonómica. Contiene información esencial sobre los nombres, las relaciones y la distribución de más de 1,4 millones de especies.
Consorcio para el Código de Barras de la Vida (en inglés, Consortium for the Barcode of Life o CBOL). Disponible en http://www.barcodeoflife.org/.	Iniciativa internacional dedicada al desarrollo de códigos de barras de ADN como un estándar global para la identificación de las especies biológicas. Cuenta con 200 organizaciones miembro de un total de 50 países.

Enciclopedia de la Vida (en inglés, Encyclopedia of Life o EoL). Disponible en http://eol.org/.	Base de datos de especies colaborativa en línea que pretende construir una enciclopedia que contenga un artículo por cada una de las especies de seres vivos conocidas en la Tierra.
Estándares de Información sobre Biodiversidad (en inglés, Biodiversity Information Standards o TDWG). Disponible en http://www.tdwg.org/.	Se formó para establecer una colaboración internacional entre los proyectos de bases de datos biológicos. Promueve la difusión de la información más amplia y eficaz sobre el patrimonio mundial de organismos biológicos en beneficio del mundo en general. Se centra en el desarrollo de normas para el intercambio de datos biológicos o sobre biodiversidad.
Grupo de Observaciones de la Tierra - Red de Observaciones de Biodiversidad (en inglés, Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network o GEO BON). Disponible en http://www.earthobservations.org/geobon.shtml.	Coordina las actividades relacionadas con el área de beneficio social de biodiversidad del Sistema de Sistemas de Observación Global de la Tierra (en inglés, Global Earth Observation Information System of Systems o Geoss). Alrededor de 100 organizaciones están colaborando a través de GEO BON para organizar y mejorar las observaciones terrestres, de agua dulce y marinas sobre biodiversidad a nivel mundial y que los datos de biodiversidad, la información y las previsiones sean más accesibles al público en general.
Sistema Mundial de Información sobre Biodiversidad (en inglés, Global Biodiversity Information Facility o GBIF). Disponible en http://www.gbif.org/.	Infraestructura internacional de datos de libre acceso, financiada por los gobiernos. Permite que cualquier persona pueda acceder a los datos de presencia de especies de todo tipo de vida en la Tierra a través de Internet. Ayuda a las instituciones a publicar los datos de acuerdo a estándares comunes, permitiendo la investigación e informando de las mejores decisiones para conservar y utilizar de manera sostenible los recursos biológicos del planeta.

Fuente: Prosic, noviembre 2013, a partir de la información proporcionada por cada iniciativa (Biodiversity Heritage Library, n.d.; Biodiversity Information Standards - TDWG, 2007; Catalogue of Life, 2013; CBOL, 2013; Encyclopedia of Life, n.d.; GBIF, 2013c; Group on Earth Observations, 2013).

Figura 3.4

Modelos de distribución potencial de la lapa verde (*Ara ambiguus*) en Costa Rica



Modelo de la distribución actual | Modelo de la distribución proyectada en 2070

Fuente: Prosic, noviembre 2013, con base en datos recuperados del portal de GBIF (GBIF, 2013b) y variables ambientales del portal de WorldClim (Hijmans, Cameron, & Parra, n.d.).

algún método de inferencia, estadístico o de aprendizaje de máquinas, y generan un modelo que toma la forma de un mapa que muestra, mediante colores, las probabilidades de presencia de la especie modelada, como se muestra en el ejemplo de la Figura 3.4. En este caso, se utilizaron datos de temperatura y precipitación, recopilados entre 1960 y 2000, y mapeados mediante métodos de interpolación (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005), para construir un modelo de la distribución potencial del ave conocida como «lapa verde» (Ara ambiguus). Posteriormente, se estimó la distribución futura con el modelo CIMP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (en inglés, Intergovernmental Panel on Climate Change o IPCC) para el año 2070. Se utilizó el método de entropía máxima como mecanismo de inferencia (Phillips, Dudik, & Schapire, 2004). En ambos modelos, las zonas oscuras son las que denotan mayor probabilidad de ocurrencia de la especie, por lo que puede apreciarse una disminución considerable del hábitat de la lapa verde para 2070.

El proceso realizado para obtener los mapas de la Figura 3.4 requiere de un sólido fundamento taxonómico[13] para la correcta clasificación e identificación de los organismos recolectados y observados. Asimismo, resulta indispensable una asignación precisa de las coordenadas geográficas (i.e. georreferenciación) de los sitios en donde se han recolectado u observado los organismos. Dado que muchos de los datos de biodiversidad provenientes de herbarios y museos fueron recolectados varias décadas

13 En ciencias biológicas, se conoce como taxonomía a la disciplina que identifica, delimita, nombra y clasifica las especies y demás taxones (géneros, familias, etc.) en una jerarquía.

atrás, y en algunos casos no se contaba con la tecnología y los recursos necesarios para asegurar su calidad desde el punto de vista taxonómico y geoespacial, una cantidad considerable de los datos disponibles en la actualidad presenta problemas no documentados que están siendo abordados por diferentes investigadores e iniciativas (A. D. Chapman & Wieczorek, 2006; Arthur D. Chapman, 2005; Hill, Otegui, Ariño, & Guralnick, 2010). Algunos de estos problemas (e.g. coordenadas invertidas, errores ortográficos en los nombres) pueden ser fácilmente detectados y advertidos al usuario por los portales que integran y publican los datos, pero muchas veces se hace difícil corregir los errores completamente, debido a que esto tendría que hacerse en la fuente original de los datos. Para reducir esta problemática, se han diseñado e implementado varios mecanismos que permiten realizar anotaciones en los registros de datos y así documentar los errores encontrados (Hill et al., 2010).

Entre los mecanismos de inferencia preferidos en la actualidad destacan el método de entropía máxima (Elith et al., 2011; Phillips, Anderson, & Schapire, 2006; Phillips et al., 2004), los algoritmos genéticos (Stockwell & Peters, 1999), los algoritmos de envolturas climáticas (en inglés, climate envelope) (Busby, 1991; Carpenter, Gillison, & Winter, 1993; Hijmans & Graham, 2007; Zafra-Calvo, Rodriguez, & Lobo, 2010), las redes neuronales artificiales (Coro, Pagano, & Ellenbroek, 2013; Segurado & Araújo, 2004; Tarroso, Carvalho, & Brito, 2012), así como una gran variedad de modelos lineales generalizados (MLG) y modelos aditivos generalizados (MAG) (Austin, 2007; Elith et al., 2006; Guisan, Edwards, & Hastie, 2002).

Algunas aplicaciones de estas técnicas buscan encontrar respuestas a preguntas científicas básicas, como el estudio de los procesos evolutivos, las causas de los límites de las distribuciones de las especies o las reacciones de estas a entornos cambiantes. Otras aplicaciones están más enfocadas en aspectos de manejo como, por ejemplo, la conservación de la biodiversidad (Lobo, Lumaret, & JayRobert, 1997; Loiselle et al., 2003; Rodriguez, Brotons, Bustamante, & Seoane, 2007), la estimación del daño potencial de plagas a los cultivos (Sánchez-Cordero & Martínez-Meyer, 2000) o el impacto de especies exóticas invasivas (Barbosa, Schneck, & Melo, 2012; A. Peterson & Vieglais, 2001), por citar algunos ejemplos.

3.3.3 Los retos de la Informática para la Biodiversidad

Durante sus primeros años, la informática para la biodiversidad se ha ocupado de tareas necesarias para su surgimiento y posicionamiento, entre las que se encuentran la digitalización de grandes repositorios de información, como herbarios y museos de historia natural (Berendsohn & Seltmann, 2010), la curación de datos (A. D. Chapman & Wieczorek, 2006; Arthur D. Chapman, 2005; Hill et al., 2010), la creación de protocolos y estándares para la publicación de datos (Chavan & Ingwersen, 2009; Wieczorek et al., 2012), el establecimiento de recursos taxonómicos globales (Roskov et al., 2013), el desarrollo de herramientas informáticas y el desarrollo de un marco teórico para la modelización de datos (A. T. Peterson et al., 2010; A. T. Peterson & Soberón, 2012).

Esta disciplina está empezando a jugar un papel importante en los esfuerzos de la comunidad científica para abordar temas de conservación, ordenamiento territorial, cambio global, sostenibilidad, seguridad alimentaria y servicios ecosistémicos, que son los que más interesan a los gobiernos del mundo en este momento, dada la crisis de la biodiversidad expuesta en la primera sección de este capítulo. Para atender estos problemas, es necesario entender de manera integral el funcionamiento de los ecosistemas, más allá de la taxonomía y de los datos de presencia de especies. Las interacciones entre las diferentes especies, así como entre estas y su ambiente deben ser comprendidas y modelizadas (Hardisty et al., 2013).

Por tanto, el gran reto de la informática para la biodiversidad consiste en desarrollar una infraestructura que permita que los datos disponibles sean integrados en un ambiente de modelización coordinado (Hardisty et al., 2013). Para alcanzarlo, la iniciativa denominada Perspectiva Mundial sobre la Informática para la Biodiversidad (en inglés, Global Biodiversity Informatics Outlook o GBIO), propone acciones en cuatro áreas (Hobern et al., 2013):

- Creación de una cultura de experticia compartida, estándares de datos comunes y robustos, políticas e incentivos para quienes compartan datos y un sistema permanente de almacenamiento de datos.
- Digitalización de datos de todas las fuentes disponibles, de manera que estén disponibles rápidamente y se actualicen de forma periódica.
- Provisión de las herramientas para convertir esos datos en evidencia a través de mecanismos que posibiliten su descubrimiento y los organicen en vistas adecuadas que les den contexto y significado.
- Generación de conocimiento sobre la biodiversidad y sobre el impacto que los seres humanos generamos en esta, a través de la aplicación de la evidencia en modelos, herramientas de visualización e identificación de vacíos que prioricen las recolecciones futuras de datos.

3.4 REALIDAD DE LA INFORMÁTICA PARA LA BIODIVERSIDAD EN COSTA RICA

En esta sección, se hace un breve recuento de la labor de los investigadores e instituciones que han colaborado para sistematizar los conocimientos sobre la riqueza biológica costarricense a través de nuestra historia. Además, se describen las principales iniciativas que, en la actualidad, están intentando potenciar este conocimiento a través de la aplicación de las TIC a los datos e información sobre biodiversidad.

3.4.1 Los inicios de la Investigación Biológica en Costa Rica

Las primeras descripciones sobre la flora y la fauna de Costa Rica, y de sus países vecinos, pueden ser encontradas en obras escritas, principalmente por eclesiásticos, durante la época del descubrimiento, la conquista y la colonia (López de Gómara, 2011; Ximénez,

1967). Durante la segunda mitad del siglo XIX, posterior a la independencia, el comercio del café y la inmigración de europeos hacia el Nuevo Mundo propiciaron la llegada de los primeros naturalistas extranjeros. Sin embargo, de acuerdo con el ecólogo Daniel Janzen, fueron los relatos de exploraciones, en otros países de América Latina, de afamados científicos como el francés Charles Marie de La Condamine (1701 - 1774) y el prusiano Alexander von Humboldt (1769 - 1859), los principales responsables de despertar el interés de otros naturalistas viajeros como el danés Anders Sandoe Oersted (1816 - 1872), el estadounidense William More Gabb (1839 - 1878), los ingleses Osbert Salvin (1835 - 1898) y Frederick DuCane Godman (1834 - 1919), y los alemanes Moritz Wagner (1813 - 1887), Karl Hoffmann (1823 - 1859), Alexander von Frantzius (1821 - 1877) y Karl Theodor Sapper (1866 - 1945), quienes llegaron a Costa Rica con la expectativa de investigar en un territorio prácticamente inexplorado aún para las ciencias naturales (Janzen, 1991).

El trabajo de estos científicos, principalmente europeos, fue de suma importancia, ya que permitió elaborar las primeras clasificaciones de las especies vegetales y animales de Costa Rica, muchas de las cuales, eran aún desconocidas (Méndez Estrada & Monge-Nágera, 2012). Alexander von Frantzius, médico y botánico, se estableció en Costa Rica y fundó una farmacia, popularmente conocida como la Botica Francesa, que fungió, según Janzen, como una «cámara germinadora» que propició el surgimiento de una primera generación de destacados naturalistas costarricenses, entre los que pueden mencionarse a José Cástulo Zeledón (1846 - 1923), José Fidel Tristán y Anastasio Alfaro (1865 - 1951), quien fue luego el primer director del Museo Nacional. Estos biólogos destacaron también en otras áreas del conocimiento como la geografía y la arqueología.

En 1887 arribó a Costa Rica el ingeniero de minas suizo Henri François Pittier (1857 - 1950), contratado inicialmente por el gobierno para elaborar un mapa del país y también para participar en la reestructuración de la educación secundaria en el contexto de las reformas liberales impulsadas en el sistema educativo por Mauro Fernández, secretario de instrucción pública del presidente Bernardo Soto Alfaro. Pittier se involucró pronto en una gran cantidad de actividades científicas de importancia en Costa Rica. Su trabajo marcó el inicio de una nueva etapa en la historia natural costarricense. Entre sus aportes pueden mencionarse el establecimiento del Instituto de Geografía Física, del Herbario Nacional (que luego pasó a formar parte del Museo Nacional) y del Observatorio Meteorológico Nacional. Junto con otros especialistas, organizó la producción de Primitiae Florae Costaricensis, la primera flora sistemática costarricense, iniciada en 1891. A pesar de que normalmente se le vincula con el campo de la botánica, realizó también aportes al estudio de la zoología y de la geología. Sus múltiples expediciones en el territorio costarricense dieron como fruto valiosas colecciones que eventualmente se incorporaron al Museo Nacional (Janzen, 1991; Méndez Estrada & Monge-Nágera, 2012).

El trabajo de estos primeros naturalistas, tanto extranjeros como nacionales, propició el establecimiento de centros de investigación que paulatinamente ayudaron a formar más científicos

y reunieron material para colecciones de historia natural. Algunos de las más importantes de estas instituciones se mencionan en la sección siguiente.

3.4.2 Principales colecciones biológicas de Costa Rica

El Museo Nacional de Costa Rica (MNCR) fue fundado en 1887, «con el propósito de dotar al país de un establecimiento público para depositar, clasificar y estudiar los productos naturales y artísticos» (Museo Nacional de Costa Rica, 2013). La figura de Anastasio Alfaro, su primer director, fue de vital importancia en la apertura y la consolidación del MNCR, así como en la preparación de nuevos especialistas a través de convenios con instituciones del exterior, particularmente de los Estados Unidos de América (Janzen, 1991). Además del ya mencionado Herbario Nacional, que alberga las colecciones de plantas y de hongos, el MNCR cuenta con colecciones de animales vertebrados (peces, aves, mamíferos, anfibios y reptiles) e invertebrados (moluscos, anélidos, insectos, arácnidos) que se iniciaron desde finales del siglo XIX y continúan creciendo hasta nuestros días, gracias al aporte de varios de los científicos extranjeros y nacionales mencionados anteriormente y otros que les sucedieron (Méndez Estrada & Monge-Nágera, 2012).

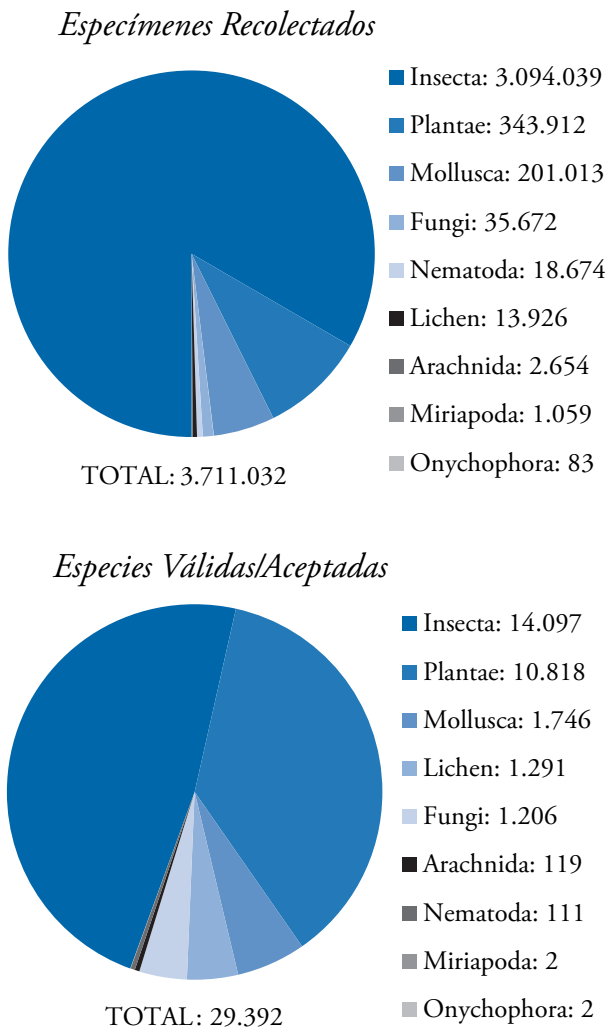
El Departamento de Biología de la Universidad de Costa Rica (UCR) se creó en 1957 en la también nueva Facultad de Ciencias y Letras, como parte de la revitalización hacia las ciencias y otros campos que experimentó la UCR a partir de la segunda mitad del siglo XX. Cabe recordar que la Universidad de Santo Tomás, la primera de Costa Rica, fue cerrada en 1888 y solamente sobrevivieron las facultades de derecho, agronomía, bellas artes y farmacia, que continuaron funcionando de forma independiente (UCR, 2013) y en condiciones muy difíciles. La falta de una casa de enseñanza superior significó un duro golpe para el desarrollo de las ciencias naturales en nuestro país (Janzen, 1991). Fue hasta 1941 que Costa Rica volvió a contar con una universidad, al fundarse la Universidad de Costa Rica. La Escuela de Biología de la UCR recibió como herencia una colección de aves y también el herbario Luis A. Fournier Origgi, fundado en 1931, y que hasta entonces pertenecía al Centro Nacional de Agricultura (Escuela de Biología de la UCR, 2012). El Museo de Zoología de la UCR fue fundado a principios de la década de 1960, para albergar, en aquel entonces, principalmente colecciones de peces, anfibios y reptiles (Museo de Zoología de la UCR, n.d.). En la actualidad, cuenta con colecciones de invertebrados (esponjas, celenterados, moluscos, equinodermos, miriápodos, crustáceos, arácnidos, insectos terrestres, insectos acuáticos e insectos terrestres), vertebrados (larvas y huevos de peces, peces, anfibios, reptiles, mamíferos y aves), además de una colección de bioacústica, con sonidos de anfibios y aves, principalmente (Museo de Zoología, n.d.). Otros departamentos de la UCR que mantienen colecciones biológicas son el Museo de Insectos del Centro de Investigación para la Protección de Cultivos (Ciproc) de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias en la Escuela de Fitotecnia, y el Jardín Botánico Lankester, especializado en orquídeas.

Alrededor de la década de 1960, científicos de varias universidades de los Estados Unidos acordaron trabajar conjuntamente con colegas de la UCR con el propósito de fortalecer la educación y la investigación en biología tropical, lo que condujo a la fundación de la Organización de Estudios Tropicales (OET) en 1963. En la actualidad, la OET es un consorcio sin fines de lucro que agrupa a 63 instituciones de investigación de los Estados Unidos, América Latina y Australia (OET, n.d.). La OET mantiene tres estaciones biológicas en las que ofrece cursos de pre y pos grado: La Selva, en Sarapiquí de Heredia; Palo Verde, en el Parque Nacional Palo Verde, en Guanacaste y Las Cruces, en el Pacífico Sur. Cada una de estas estaciones cuenta con un herbario y con algunas otras colecciones de historia natural (e.g. insectos acuáticos). Entre los recursos que ofrece la OET para apoyar la investigación, destaca el sistema de información de Bibliografía Nacional en Biología Tropical (Binabitrop), una base de datos de acceso libre (disponible en http://cro.ots.ac.cr/rdmcnfs/datasets/exsrch.phtml?ds=binabitrop) que reúne cerca de 40.000 registros bibliográficos sobre biología de Costa Rica y otros temas afines (OET, 2013).

Posteriormente, en 1989, y en el contexto de una preocupación cada vez mayor por la protección por los recursos biológicos del país, se creó el Instituto Nacional de Biodiversidad (Inbio). Uno de los motivos de su fundación fue la necesidad de realizar inventarios detallados de los recursos biológicos de Costa Rica. Esta idea estaba tomando una gran fuerza a nivel internacional en esos años, en los que el concepto de biodiversidad empezaba a definirse y a formalizarse (Zeledón, 2000). En el enfoque seguido por el Inbio para realizar estos inventarios, resalta la figura de los parataxónomos, personas residentes de las zonas aledañas a las ASP y con conocimiento del terreno, que son entrenadas en labores de recolección e identificación de muestras biológicas (Gámez

Gráfico 3.3

Especímenes y especies contenidos en el sistema *Atta* hasta 2013



Fuente: Sistema Atta de información sobre biodiversidad (Inbio, 2001).

& Gauld, 1993; Janzen & Hallwachs, 2011; Janzen, 2004). El trabajo de los parataxónomos del Inbio, en combinación con el de una red de expertos nacionales e internacionales, ha dado lugar a una de las colecciones de historia natural más grandes del país (más de 3,5 millones de especímenes), cuya distribución por grupo taxonómico se muestra en el gráfico 3.3. Una característica importante de esta colección es que ha sido manejada mediante sistemas de información, prácticamente desde sus inicios.

Las que acaban de describirse son las colecciones de historia natural más grandes que existen en Costa Rica y cuya información está, de una u otra manera, más accesible a la comunidad científica y al público en general. Otras que merecen mencionarse son las del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Catie), que incluyen bancos de semillas y otros tipos de material genético; las del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), producto de los estudios de impacto ambiental para varios proyectos hidroeléctricos; y la de las Escuela de Biología de la Universidad Nacional (UNA).

3.4.3 Recursos digitales de datos sobre Biodiversidad

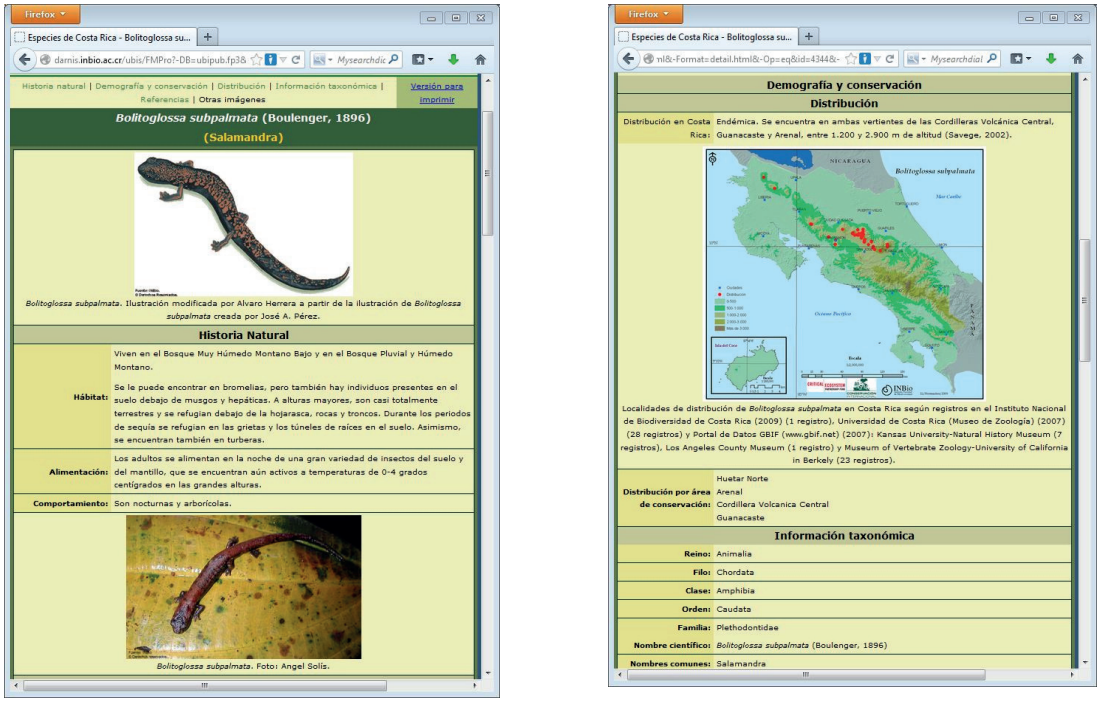
A pesar de que en Costa Rica, como en otras partes del mundo, los investigadores han empleado programas de software para manejar datos de biodiversidad desde hace varios años, el uso que se les ha dado ha sido muy limitado en la mayoría de los casos. Por lo general, se trata de hojas electrónicas o bases de datos de uso personal o restringido, construidas por curadores de colecciones con herramientas como Microsoft Excel, Microsoft Access o FileMaker, que reducen la necesidad de acudir a profesionales en informática, los cuales suelen ser escasos en instituciones como museos, herbarios y otros centros de investigación sobre biodiversidad. Aún cuando estas aplicaciones pueden ser un paso en la dirección correcta para digitalizar y sistematizar la información, suelen presentar problemas técnicos que inciden en la calidad de los datos que manejan y dificultan su integración con el trabajo de otros científicos, incluso dentro de una misma institución. Algunos de los problemas más usuales que suelen encontrarse en estas aplicaciones son la ausencia de un registro taxonómico integrado y el uso de diferentes proyecciones cartográficas.

El desarrollo y uso de sistemas de información institucionales sobre biodiversidad es relativamente reciente y aún escaso en Costa Rica. En las instituciones que manejan las colecciones más numerosas se han hecho esfuerzos por desarrollar o adoptar aplicaciones que integren los datos de algunas de estas. En el MNCR, por ejemplo, se cuenta con una base de datos desarrollada internamente para el herbario que ha sido ampliada recientemente para su empleo en las colecciones zoológicas. Por su parte, en el Museo de Zoología de la UCR se ha usado el software *Specify*, desarrollado por la Universidad de Kansas, en la colección de herpetología y se pretende extenderlo a otras colecciones.

Como ya se mencionó, el Inbio inició el manejo automatizado de sus colecciones y su información sobre biodiversidad en general, casi desde su fundación en 1989. Esta estrategia ha

Figura 3.5

Registro de información de la especie de salamandra *Bolitoglossa subpalmata*



Fuente: Sistema Atta de información sobre biodiversidad (Inbio, 2001).

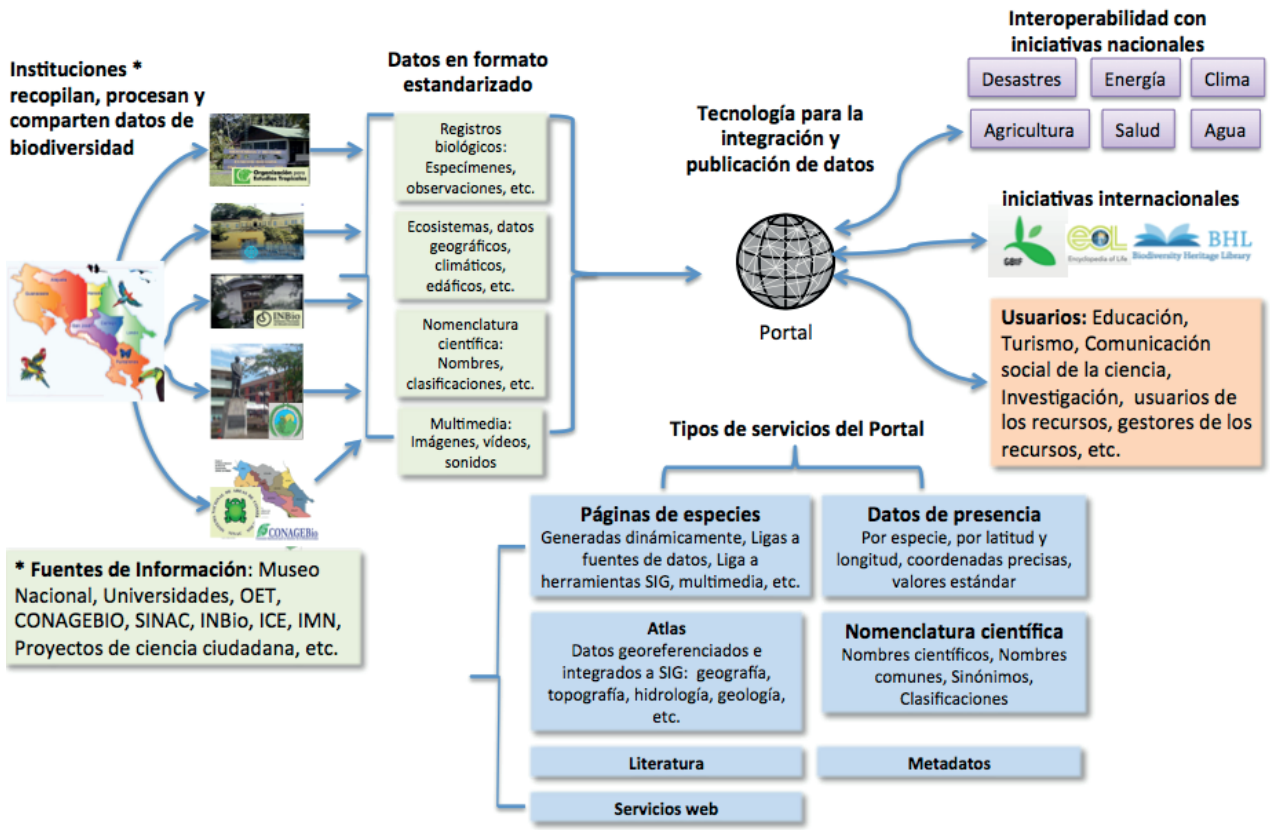
generado algunas ventajas, como la asignación de un identificador único para cada espécimen, la georreferenciación de todos sus registros de ocurrencia de especies y una taxonomía integrada para todos los grupos biológicos con los que se trabaja en la institución. Su sistema de información más reciente, llamado Atta, está en producción desde el año 2000 y ofrece acceso libre y gratuito (en http://atta.Inbio.ac.cr/) a todos sus contenidos, que incluyen registros de especies, como el que se muestra en la figura 3.5, y de especímenes, junto con información taxonómica y biogeográfica asociada.

3.4.4 El Sistema Costarricense de Información sobre Biodiversidad

Las iniciativas nacionales e internacionales mencionadas en las secciones anteriores han propiciado la conformación de una base científica de conocimiento sobre la biodiversidad de Costa Rica que puede ser estandarizada, integrada y compartida para apoyar la investigación, la educación y la toma de decisiones en conservación. Con estos objetivos, el Sistema Costarricense de Información sobre Biodiversidad (CRBio) fue inaugurado en 2006 con la misión de proveer acceso integrado, libre y gratuito a la información de la biodiversidad costarricense.

Figura 3.6

Ampliación propuesta para la plataforma tecnológica de CRBio



Fuente: CRBio, 2013.

En la actualidad, CRBio reúne datos de museos, universidades, entidades estatales y ONG de Costa Rica, entre los que se cuentan más de tres millones y medio de registros de presencia de especies, más de cuatro mil fichas de resumen con información general de especies (e.g. imágenes, fotografías, mapas y textos sobre historia natural) y más de 40.000 registros de referencias bibliográficas. Toda esta información puede ser consultada libre y gratuitamente en el sitio web de la iniciativa (http://CRBio.cr/) y ha sido integrada a partir del trabajo de las instituciones miembros de CRBio: Conagebio, Inbio, MNCR, OET, Sinac y UCR. CRBio realiza este trabajo de integración a través de estándares internacionales, como el Darwin Core (DWC) (Wieczorek et al., 2012), para datos de ocurrencia de especies (e.g. especímenes y observaciones) y el *Plinian Core* (PLIC) ("Plinian Core," n.d.), para datos de información general sobre especies. La adopción de estos estándares permite que los datos de CRBio sean compartidos en iniciativas internacionales de informática para la biodiversidad, como GBIF y EOL.

A pesar de estos logros, las instituciones miembros de CRBio coinciden en que el sistema de información de la iniciativa debe mejorarse sustancialmente para así contar, entre otras características claves, con:

- Una interfaz de usuario más ágil y amigable.
- Una mayor disponibilidad de herramientas de análisis.
- Un mejor control de calidad de datos desde los puntos de vista taxonómico y geoespacial.
- Mayor rapidez y agilidad para integrar nuevos proveedores de datos al sistema.

Estas mejoras permitirían a CRBio proveer más y mejores servicios a la comunidad nacional e internacional, para así apoyar la investigación, la educación y facilitar la toma de decisiones sobre la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Esta propuesta se esquematiza en la figura 3.6.

Con una infraestructura de informática para la biodiversidad como esta, Costa Rica estaría en una mejor posición para evaluar la situación actual de su biodiversidad y dar seguimiento a los indicadores que se han definido por parte de la comunidad internacional y que los órganos de control nacionales, como la CGR, están empezando a exigir.

3.5 CONSIDERACIONES FINALES

Durante las últimas décadas, la comunidad internacional ha adquirido una mayor conciencia sobre el valor de la biodiversidad y ha emprendido algunas importantes acciones destinadas a su conservación, como la firma del Convenio sobre la Diversidad Biológica en 1992 y la suscripción de las metas de Aichi en 2010. A pesar de estos esfuerzos, muchos de los indicadores disponibles siguen demostrando que las amenazas a la diversidad biológica continúan vigentes y que su situación sigue, en general, deteriorándose. Una de las principales razones de esta problemática es la falta de información y de herramientas adecuadas para manejarla.

Y sin embargo, una gran cantidad de datos útiles para la protección y el uso sostenible de los recursos biológicos han sido generados desde el surgimiento de la taxonomía moderna, hace unos 250 años, y se ubican en herbarios, museos de historia natural y otros centros de investigación en todo el mundo. No obstante, en muchas ocasiones, se encuentran en formatos inaccesibles o poco adecuados para ser compartidos en la comunidad científica y en la sociedad en general. Afortunadamente, las TIC están ayudando a superar esos impedimentos a través del desarrollo y del uso de nuevas herramientas para capturar, procesar y publicar información, entre las que merecen mencionarse los grandes repositorios de datos distribuidos en Internet, los instrumentos de teledetección, los sistemas de información geográfica y los métodos de modelización basados en aprendizaje de máquinas. A la par de estas innovaciones tecnológicas, hay una creciente cantidad de investigadores que comprenden que la información incrementa considerablemente su valor y su utilidad cuando es compartida.

Costa Rica es un país particularmente privilegiado en términos de biodiversidad, no solo por la gran cantidad de especies que alberga en su territorio, sino también por todo el conocimiento que científicos nacionales y extranjeros, en especial a

partir del siglo XIX, han generado sobre estas y sobre su relación con el ambiente que las rodea. Las características naturales del país, junto con las ventajas que le dan su posición geográfica, su estabilidad política y su apertura a recibir investigadores de todas partes del mundo, han convertido a la biodiversidad costarricense en una de las más intensamente estudiadas entre los países tropicales.

A pesar de las grandes oportunidades que brinda esta base de conocimiento, aún existen barreras importantes para que la información sobre biodiversidad pueda ser compartida y utilizada apropiadamente a nivel de país. Esfuerzos como CRBio y la colaboración con iniciativas mundiales como GBIF, EOL y CBOL, son esperanzadoras, pero se carece aún de un marco integrado de gestión de información sobre nuestra biodiversidad que apoye la conservación, la investigación y el uso sostenible de este recurso. A criterio del investigador, los principales obstáculos a superar no son tecnológicos, más bien están en la consolidación de una cultura de acceso compartido a los datos, la información y el conocimiento por parte de todas las partes y actores involucrados.

Manuel Fernando Vargas Del Valle

M.Sc. en Ciencias de la Computación en Informática con 15 años de experiencia en el área de informática para la biodiversidad. Coordinador de la Unidad de Desarrollos Informáticos del INBio. Profesor de maestría en Ciencias de la Computación e Informática de la Universidad de Costa Rica y de la maestría en Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de la Universidad Nacional y la Universidad de Costa Rica.
mvargas@inbio.ac.cr

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ADN - Ácido DesoxirriboNucleico.

ALA - Atlas of Living Australia.

AMNH - American Museum of Natural History.

ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.

Avhrr - Advanced Very High Resolution Radiometer.

BHL - Biodiversity Heritage Library.

BINABITROP - Bibliografía Nacional en Biología Tropical.

CATIE - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

CBOL - Consortium for the Barcode of Life.

CC - Creative Commons.

CDB - Convenio sobre la Diversidad Biológica.

CGR - Contraloría General de la República.

CIPROC - Centro de Investigación para la Protección de Cultivos.

CMIP5 - Coupled Model Intercomparison Project Phase 5.

Conagebio - Comisión Nacional para la Gestión de la Biodiversidad.

COL - Catalogue of Life.

COP - Conference Of the Parties.

CRBio - Sistema Costarricense de Información sobre Biodiversidad.

CST - Certificado de Sostenibilidad Turística.

DWC - Darwin Core.

EM - Evaluación de los Ecosistemas del Milenio.

ENB - Estrategia Nacional de Conservación y Uso Sostenible de la Biodiversidad.

EOL - Encyclopedia of Life.

EPA - Environmental Protection Agency.

FA - Food and Agriculture Organization.

Fonafifo - Fondo Nacional de Financiamiento Forestal.

GBIF - Global Biodiversity Information Facility.

GBIO - Global Biodiversity Informatics Outlook.

GEO BON - Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network.

GEOSS - Global Earth Observation System of Systems.

HWSD - Harmonized World Soil Database.

IABIN - Inter-American Biodiversity Information Network.

ICE - Instituto Costarricense de Electricidad.

IMN - Instituto Meteorológico Nacional.

Inbio - Instituto Nacional de Biodiversidad.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPV - Índice del Planeta Viviente.

IUCN - International Union for the Conservation of Nature.

JRC - European Commission Joint Research Centre.

MAG - Ministerio de Agricultura y Ganadería.

MAG - Modelo Aditivo Generalizado.

MLG - Modelo Lineal Generalizado.

Minae - Ministerio de Ambiente y Energía.

Minaet - Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones.

Mirenem - Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas.

MNCR - Museo Nacional de Costa Rica.

MODIS - Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer.

NASA - National Aeronautics and Space Administration.

OBIS - Ocean Biogeographic Information System.

ODBL - Open Data Commons Open Database License.

OET - Organización para Estudios Tropicales.

ONG - Organización No Gubernamental.

PLIC - Plinian Core.

PNUMA - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

PPSA - Programa de Pago de Servicios Ambientales.

Setena - Secretaría Técnica Nacional Ambiental.

SIG - Sistema de Información Geográfica.

Sinac - Sistema Nacional de Áreas de Conservación.

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission.

TDWG - Biodiversity Information Standards (antiguamente Taxonomic Database Working Group).

UCR - Universidad de Costa Rica.

UICN - Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

UNA - Universidad Nacional.

UNEP - United Nations Environment Programme.

USGS - United States Geological Survey.

WCMC - World Conservation Monitoring Centre.