

Informatización del conocimiento para la conservación de la biodiversidad

E. Mata Montero, E. Mata

Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio). Apdo. postal 22-3100. Santo Domingo de Heredia, Costa Rica

El proceso de informatizar el conocimiento necesario para conservar la biodiversidad de un país o región requiere de varias etapas de desarrollo de sistemas de información. Típicamente se inicia con el manejo de datos en formatos analógicos y se continúa con una secuencia de seis etapas más que culminan con el desarrollo de sistemas digitales interinstitucionales descentralizados que permiten generar y acceder a conocimiento para la toma de decisiones, la definición de políticas y la educación ambiental. Este artículo presenta, a partir de la pionera experiencia bioinformática del Instituto Nacional de Biodiversidad en Costa Rica, los retos de esta naciente área interdisciplinaria, las fases típicas de implantación de sistemas bioinformáticos en una institución y las oportunidades actuales que brindan nuevas tecnologías e iniciativas mundiales que facilitan el enfrentar estos retos.

Palabras clave: bioinformática, sistemas de información para la conservación

Digital knowledge management for biodiversity conservation. A series of several information systems development stages is typical in the process of establishing digital biodiversity knowledge management systems. Traditionally, the first stage consists of using manual procedures based on analog data (such as field notes in notebooks or cards) and continues through at least six more stages that culminate with the development of inter-institutional, decentralized, digital systems. These systems aim at generating and providing access to knowledge to support decision making processes, policy making, and environmental education. This article presents, through the pioneering biodiversity informatics experience of the National Biodiversity Institute of Costa Rica, the key challenges of this new interdisciplinary area, the typical phases in the implementation of biodiversity informatics systems in an institution, and the current opportunities that new technologies and initiatives offer to face these challenges.

Key words: biodiversity informatics, information systems for biodiversity conservation

Introducción

La conservación de la biodiversidad exige que los países constantemente tomen decisiones que tienen importantes implicaciones sociales, políticas y económicas. También implica tomar en cuenta una enorme cantidad de variables bióticas y abióticas que se relacionan entre sí de muchas maneras, algunas de ellas todavía desconocidas para la ciencia. Por lo tanto, la conservación de la biodiversidad demanda un acceso fácil y oportuno a información relevante y de alta calidad científica. El acceso fácil y oportuno es un reto desde el punto de vista de la eficiencia, pues el objetivo es poner a disposición de los usuarios y tomadores de decisiones la información en un rango de tiempo durante el cual los organismos y procesos biológicos que se desean conservar, y los procesos sociales, políticos y económicos que se desean apoyar, no se deterioren por la lentitud en la toma de decisiones. Por otro lado, el disponer de información relevante y de alta calidad es fundamentalmente un reto desde el punto de vista científico, pues sólo el rigor del método científico permite generar información para analizar responsablemente diferentes escenarios, monitorear tendencias y predecir sus potenciales impactos. Para ambos retos, es claro que las tecnologías de la información presentan en los últimos años una coyuntura única.

Dos revoluciones tecnológicas se conjugan para enfrentar estos dos retos. Primero que todo, debe mencionarse la revolución de los ordenadores personales. Esta primera revolución pone hoy en día, en un escritorio, capacidad computacional solo disponible en ordenadores de gran tamaño físico y altísimo costo hasta hace pocos años. Con este enorme poder, los ordenadores se han convertido en una herramienta indispensable para el análisis, el modelaje y la evaluación de hipótesis científicas. La segunda revolución es la de las telecomunicaciones. Gracias a ella, autopistas digitales como Internet rompen barreras físicas que antes obstaculizaban el traslado y acceso de la información eficientemente. Como resultado de estas dos

revoluciones, los ordenadores integrados a Internet cumplen hoy dos funciones principales que han cambiado sustancialmente la forma, el impacto y la profundidad del trabajo en casi todas las disciplinas: son una herramienta formidable de análisis y un medio de comunicación multimedial. A partir de estas dos revoluciones y los dos retos mencionados surge naturalmente la bioinformática.

La **bioinformática** (1) es una nueva área interdisciplinaria que desarrolla y utiliza tecnologías de información y comunicación (TIC) en los procesos de generación, procesamiento y divulgación de información para apoyar la conservación de la biodiversidad. Por su importancia en el apoyo a los esfuerzos mundiales de conservación, es parte fundamental de iniciativas como el 'Clearing House Mechanism' (CHM) del Convenio sobre la Diversidad Biológica y el 'Global Biodiversity Information Facility'(GBIF). Los avances y experiencia del Instituto Nacional de Biodiversidad (INBio) en esta materia se resumen en esta presentación.

Retos de la bioinformática

Para cumplir el objetivo de brindar acceso fácil y oportuno a información relevante y de alta calidad científica, debe resolverse una serie de retos importantes. Una manera útil de plantearlos y discutirlos es mediante una subdivisión de las tareas que deben llevarse a cabo para lograr ese objetivo. Así, tal y como lo ilustra la **Fig. 1**, el reto global es articular un proceso con tres tareas básicas: captura de datos, información y conocimiento, análisis e interpretación de éstos para convertirlos en información más elaborada, y, finalmente, transferencia de esa información, en distintos formatos, para distintos tipos de usuarios. Además, la información generada se contrasta con las necesidades de los usuarios y retroalimenta el proceso para generar otros niveles de información. Como entrada adicional al sistema y resultado colateral, se obtiene *expertise*, es decir, conocimientos para mejorar los procesos. En general, a partir de datos, se genera información (datos interpretados), conocimiento (información sintetizada en forma de reglas y propiedades) y *expertise* (2).

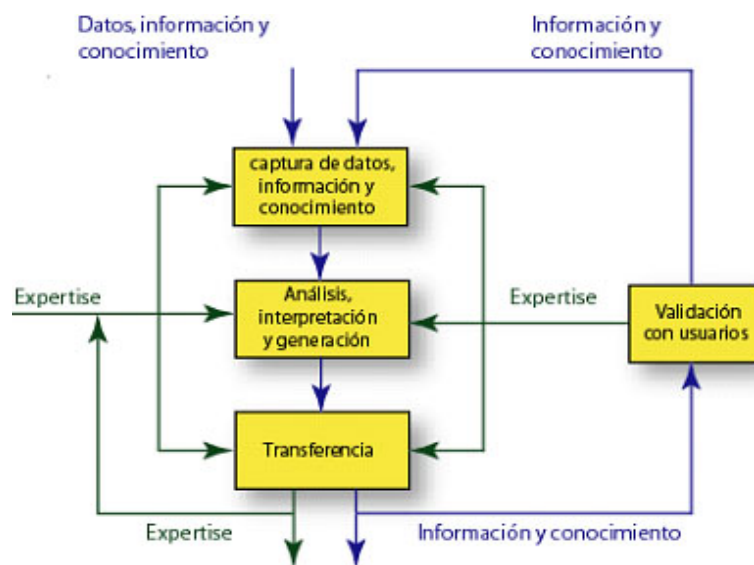


Figura 1. Etapas del proceso de generación de información sobre biodiversidad

Captura de datos

La red Internet, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), los códigos de barras para etiquetar muestras, las computadoras portátiles, los Asistentes Digitales Personales (PDA), las cámaras digitales fotográficas y de vídeo, las redes inalámbricas y la telefonía celular son ejemplos claros de tecnologías que facilitan la captura de datos textuales, visuales y sonoros en el campo y el laboratorio. El principal reto en esta área es articular un proceso mediante el cual las recolecciones de muestras y las observaciones queden documentadas de manera eficiente y meticulosa, de tal forma que se pueda volver a la fuente de los datos (por ejemplo, *vouchers* en la colección de un museo o herbario) para garantizar que la versión digital de éstos, en un sistema de información sobre biodiversidad, esté apoyada por evidencia físicamente verificable. Lograr la implantación de este proceso en su totalidad es particularmente difícil, pues un inventario exhaustivo de la biodiversidad de, por ejemplo, un país rico en biodiversidad como Costa Rica, requiere de millones de recolectas y observaciones, en sitios escogidos con criterios técnicos, que brinden confiabilidad estadística e incluyan naturalmente ejemplares que no hayan sido identificados y descritos nunca antes.

Generación de información

Desde el punto de vista científico, ésta es la etapa en la que se lleva a cabo el proceso intelectual más crítico: el análisis de los datos, la comprobación o desaprobación de hipótesis y la generación de nueva información o conocimiento. Es una etapa intensiva en el uso del conocimiento de taxónomos y ecólogos, por lo cual es particularmente retador el hecho de que se ha confirmado que existe en el mundo una cantidad decreciente de taxónomos disponibles. La GTI (acrónimo en inglés de *Global Taxonomic Initiative*) es justamente una iniciativa que, en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica, trata de aumentar el número de taxónomos activos, mejorar sus conocimientos y hacer más eficiente el proceso de identificación y descripción de especies. Es claro que herramientas tecnológicas como los sistemas expertos, SIG (sistemas de información geográfica) y programas de visualización científica y de modelaje de sistemas dinámicos, deberían jugar un papel crítico en esta etapa.

Transferencia de la información

Esta es la etapa que finalmente pone los datos en manos de los usuarios. El reto fundamental es brindar a públicos tan diversos como, por ejemplo, escolares, políticos e investigadores, información muy heterogénea en forma y en contenido. No solo se habla entonces de acceso a la información, sino de acceso a información *relevante* y *comprensible* para varios tipos de usuarios. Éste es, en realidad, un reto desde el punto de vista de la comunicación. En consecuencia, los sistemas de información multimedia e Internet emergen como tecnologías con evidente importancia, pues son las que han convertido hoy a las computadoras en el más formidable vehículo artificial de comunicación entre los seres humanos. Debe mencionarse, sin embargo, que aparte de los retos técnicos de comunicación en esta etapa (tales como el diseño de materiales para niños a partir de información científica), existen retos de orden cultural, como la ruptura de tradiciones científicas según las cuales el final del proceso es la publicación en una revista prestigiosa que leen unos cuantos expertos, el trabajo en equipos interdisciplinarios, el respeto a los derechos de propiedad intelectual y la divulgación de información potencialmente peligrosa para los esfuerzos de conservación.

Fases de implantación de sistemas de información sobre biodiversidad en una institución

El ciclo de captura, generación, diseminación y retroalimentación de información sobre biodiversidad se puede articular sin usar ordenadores ni telecomunicaciones. De hecho, se ha llevado a cabo así por varios siglos. Sin embargo, ante las evidentes ventajas de utilizar las TIC, poco a poco se ha evolucionado desde el procesamiento manual de datos, información y conocimiento hasta el procesamiento que integra sofisticadas TIC.

A partir de la experiencia desarrollada en el INBio y otras organizaciones, puede decirse que las siguientes son las fases típicas en la implantación de sistemas bioinformáticos en una institución, en orden cronológico:

- Fase 1, procesamiento manual: como su nombre lo indica, corresponde al esquema arcaico en el que las notas de campo, la información asociada a los especímenes en colecciones, los informes, etc., sigue generándose y manteniéndose en formatos analógicos como los materiales impresos, fichas en tarjetas, dibujos en papel, imágenes en fotografías y diapositivas, etc.
- Fase 2, bases de datos personales: ésta es la fase que típicamente corresponde a sacarle provecho sólo a una de las dos revoluciones mencionadas en la sección 1, es decir a la revolución de los ordenadores personales, no así a la de las telecomunicaciones. Se caracteriza porque los generadores de información, es decir, los científicos, diseñan y crean sus propias bases de datos usando herramientas que les permiten registrar y analizar sus datos, de manera aislada; esto es, sin integrarlos con los del resto de la institución en que trabajan. Si usan internet es para enviar sus publicaciones a editores de revistas, no para compartir la información mediante acceso directo a su base de datos. El resultado neto es una especie de Torre de Babel institucional, en donde, si bien se logra que la información pase a formato digital, los modelos de datos disímiles, el uso de programas variados, y el carácter personal de los datos hacen difícil el que sean accesibles de manera integrada.
- Fase 3, sistemas de información institucionales especializadas en un grupo taxonómico: esta tercera fase típicamente corresponde a un esfuerzo integrador de las bases de datos personales que se tienen en la segunda. Por ejemplo, un herbario se organiza para integrar las bases de datos personales de sus botánicos, o un museo entomológico, implementa un sistema que permite el manejo de la colección de insectos y los datos asociados. También empiezan a aparecer, por primera vez, uno o varios profesionales informáticos que realizan los procesos básicos de desarrollo de software, es decir: análisis, diseño, programación y mantenimiento de los programas de acuerdo con necesidades institucionales e implantando un proceso de migración de datos de las bases de datos personales hacia la base de datos institucional. Es una fase difícil de lograr por la tradición individualista de muchos científicos, no obstante, es posiblemente el umbral más importante a cruzar en esta serie de fases, pues, si se implanta correctamente, empieza a demostrar las ventajas de capturar, generar y diseminar información con perspectiva institucional, de acuerdo a la misión de ésta y no a intereses individuales. Se internaliza y comprende el concepto de sistema de información como extensión del concepto base de datos, pues, además de implantar la base de datos, se establecen procedimientos

institucionales, manuales y automatizados, para capturar, generar y diseminar la información.

- Fase 4, sistemas de información institucionales para múltiples grupos taxonómicos: el principal logro adicional de esta fase con respecto a la anterior, es el cruzar la frontera cultural de los feudos del conocimiento especializado; por ejemplo, entre botánicos y entomólogos, o éstos y los malacólogos. Desde el punto de vista de los analistas de sistemas, el reto de desarrollar estos sistemas es considerable dado que en las fases anteriores, se podía asumir que los usuarios principales eran más homogéneos, pues eran colegas científicos con lenguajes e intereses comunes. En esta fase se establecen por primera vez estándares de datos generales entre grandes grupos taxonómicos, y los usuarios científicos y no científicos de ámbitos variados empiezan a jugar un papel preponderante en la forma y contenido de la información.
- Fase 5, sistemas de información interinstitucionales con bases de datos centralizadas: esta fase se caracteriza por romper la barrera institucional, típicamente mediante la formación de una red de instituciones, nacional o internacionalmente, y mediante la creación de una base de datos central, que sirve de repositorio para todos los datos de las instituciones. El uso de una base de datos central típicamente obedece a limitaciones técnicas ineludibles en el pasado y a simplicidad. Por un lado, antes del desarrollo de internet de alta velocidad a finales del siglo pasado e inicio éste, no existían protocolos estándar eficientes que permitieran la integración de información almacenada en bases de datos separadas (conocidas como bases de datos distribuidas) sin crear explícitamente una base centralizada. Además, el mantenimiento y confiabilidad de un esquema centralizado tendía ser más sencillo de brindar. Algunos sistemas de escala nacional que aglutinan información gubernamental sobre biodiversidad, ejemplifican el esquema.
- Fase 6, sistemas de información interinstitucionales con bases de datos distribuidas: ésta es la fase en la que se encuentran las iniciativas más avanzadas en la actualidad, por ejemplo, GBIF y ENBI (European Network of Biodiversity Information). El esquema general es que se solicita a las instituciones participantes que mantengan sus bases de datos institucionales tal y como están pero que generen una copia, que es una versión “resumida” de la base de datos, en un formato estándar usando un lenguaje común (típicamente XML). Así, un programa sencillo procesa consultas en un portal centralizado en el web pero recorre las bases de datos “resumidas” relevantes para cada consulta particular. Desde el punto de vista político, esta fase representa un logro muy importante, pues los proveedores de datos retienen el control sobre cuál información es accesible y bajo qué términos. La autoría de los datos sigue siendo exclusiva de cada proveedor, por lo cual se da una mayor proclividad a compartirlas.
- Fase 7, sistemas integrados de manejo de conocimiento sobre biodiversidad: esta etapa, todavía en el horizonte, corresponde a una evolución de la anterior en el sentido de que surge de haber llevado a cabo suficientes ciclos de retroalimentación en el ciclo capturar-generar-diseminar, y de un uso intensivo de la información, como para empezar a convertirla en conocimiento, mediante esquemas de visualización, modelaje, análisis, y presentación de grandes volúmenes de información. Es aquí donde se espera cumplir el sueño de que el tomador de decisiones tenga el conocimiento “a pocos clics de distancia” sin requerir de los expertos necesariamente, pues el conocimiento relevante y de alta calidad científica estará fácil y oportunamente disponible.

La experiencia de INBio: usando una estrategia de conservación para definir una estrategia bioinformática

La Estrategia Nacional de Conservación de Costa Rica se basa en la trilogía '*salvar, conocer y usar sosteniblemente*' la biodiversidad. Los dieciséis años de evolución de la estrategia bioinformática de la institución se puede explicar muy concisamente a partir de esta estrategia de conservación y la discusión en la sección anterior. Desde el punto de vista de la estrategia de conservación, INBio inició sus actividades dando un fuerte énfasis a *conocer* mejor la biodiversidad, como requisito para encontrarle *usos sostenibles* y apoyar las decisiones para *salvarla*. Así, las primeras bases de datos, fueron personales pues INBio aprovechó el haber nacido después de la revolución de las computadoras personales y se saltó la primer fase (procesamiento manual). Las bases de datos tenían como usuarios al científico que las creó y a algunos de sus colegas investigadores. En resumen, el énfasis, en esta etapa que cubrió de 1989 a 1994, fue en la generación y curación de grandes volúmenes de datos en formato digital para la comunidad científica. El herbario sí contó tempranamente con una base de datos multiusuario, desarrollada por colaboradores del Missouri Botanical Garden, que atendía a los botánicos de la institución. Es decir, paralelamente se dio en el INBio la fase 2 y la fase 3.

En 1994 se emprendió el proceso de desarrollar un sistema de información típico de la fase 4. Gracias a un convenio con la empresa Intergraph de EE.UU., se desarrolló el sistema BIMS (Biodiversity Information Management System), el cual estuvo en operación hasta el año 2000. El desarrollo de este sistema formalizó la creación de una División de Manejo de Información conformada por informáticos profesionales que es la precursora del programa de bioinformática actual en la institución. Además, se fortaleció la cultura informática institucional mediante la implementación de un único sistema multiusuario que sistematizó el proceso inventario independientemente del grupo taxonómico tratado (insectos, plantas, hongos y moluscos). El desarrollo de este sistema posicionó a INBio como uno de los pioneros mundiales en la naciente rama de la bioinformática. Cada muestra recolectada está, desde entonces, georeferenciada y almacenada en las colecciones con un código de barras que la identificaba unívocamente. BIMS se desarrolló en una versión del sistema operativo UNIX (denominada CLIX) y usaba una base de datos escalable y sofisticada (Oracle). En un sitio web se brindó acceso a los datos básicos con un esquema de navegación basado en la jerarquía taxonómica (reflejo de la orientación hacia usuarios científicos). El desarrollo de este sistema precipitó en INBio la creación, de facto, de un ambicioso programa de trabajo en bioinformática.

Como lecciones aprendidas con respecto a qué evitar en el futuro, debe indicarse que en el desarrollo del BIMS se usó una “plataforma propietaria” que muy rápidamente se tornó obsoleta en cuanto al hardware utilizado. Las plataformas propietarias son equipos de cómputo (incluyendo programas) cuyos componentes, por ejemplo, monitores e impresoras, no siguen esquemas estándar de interconexión. Por lo tanto, si se adquiría una computadora marca X, los demás componentes debían ser también de esa marca X. Eran esos tiempos de competencia entre fabricantes de sistemas de cómputo que se disputaban el mercado con estrategias que hacían lo más difícil posible el cambiarse de la marca X a la marca Y. Hoy en día, con los programas abiertos (*open source*) que corre en múltiples tipos de ordenadores y con el uso de Internet y sus protocolos como base para esquemas que integren información en sistemas y equipos muy diferentes, las opciones son claramente distintas y más independientes de proveedores particulares.

Adicionalmente, debido a una subestimación del tiempo necesario para desarrollar el sistema, se dedicó insuficiente tiempo a las etapas de análisis y diseño, y además, se dio una participación muy limitada por parte de los distintos tipos de usuarios. Como resultado, cuando entró en operación tenía un “sabor entomológico” (hubo mayor participación de usuarios entomólogos), algunos usuarios se sentían poco identificados como co-autores del sistema lo cual dificultó su apropiación y se dio mucho énfasis a la captura de datos pero no así a la generación de informes. Estas lecciones fueron aprendidas y aplicadas al desarrollo del siguiente sistema: *Atta* (Fig. 2).



Figura 2. Logo del sistema de información *Atta*, inspirado en la especie de hormigas *Atta cephalotes*.

El sistema de información [Atta](#) (3) corresponde también a la fase 4 del desarrollo de sistemas bioinformáticos. Sin embargo, se aplicaron las lecciones aprendidas considerando también, por supuesto, la realidad presupuestaria y las herramientas de desarrollo disponibles en ese momento (1997-2001). El análisis, diseño e implementación de *Atta* fue guiado por un grupo de cinco informáticos apoyados en un equipo interdisciplinario de aproximadamente 15 profesionales más. Este equipo se reunía en promedio una vez cada dos semanas para asegurarse de que el desarrollo iba por buen camino y, especialmente para que la implementación respondiera a las necesidades establecidas en la etapa de análisis. El *Atta* fue diseñado para aprovecharse de nuevas tecnologías como los multimedios e Internet. Además, se diseñó en un momento en que INBio empezó a dar un giro hacia el fortalecimiento de los usos sostenibles y la gestión de las áreas silvestres protegidas con el consecuente menor énfasis en lo relativo a *conocer*. El lema mismo de *Atta* refleja ese giro: “tecnología informática al servicio de la conservación”.

Otro cambio importante con respecto al BIMS, es que *Atta* incluye información no solamente a nivel de espécimen (actualmente cuenta con aproximadamente tres millones de registros a este nivel), sino a nivel de especies y de ecosistemas. Este es el tipo de información que la mayoría de usuarios no científicos y tomadores de decisiones consultan. *Atta* puso sus bases de datos a disposición del público en general, gratuitamente, en el año 2001 (ver sitio web en www.inbio.ac.cr) (Fig. 3).

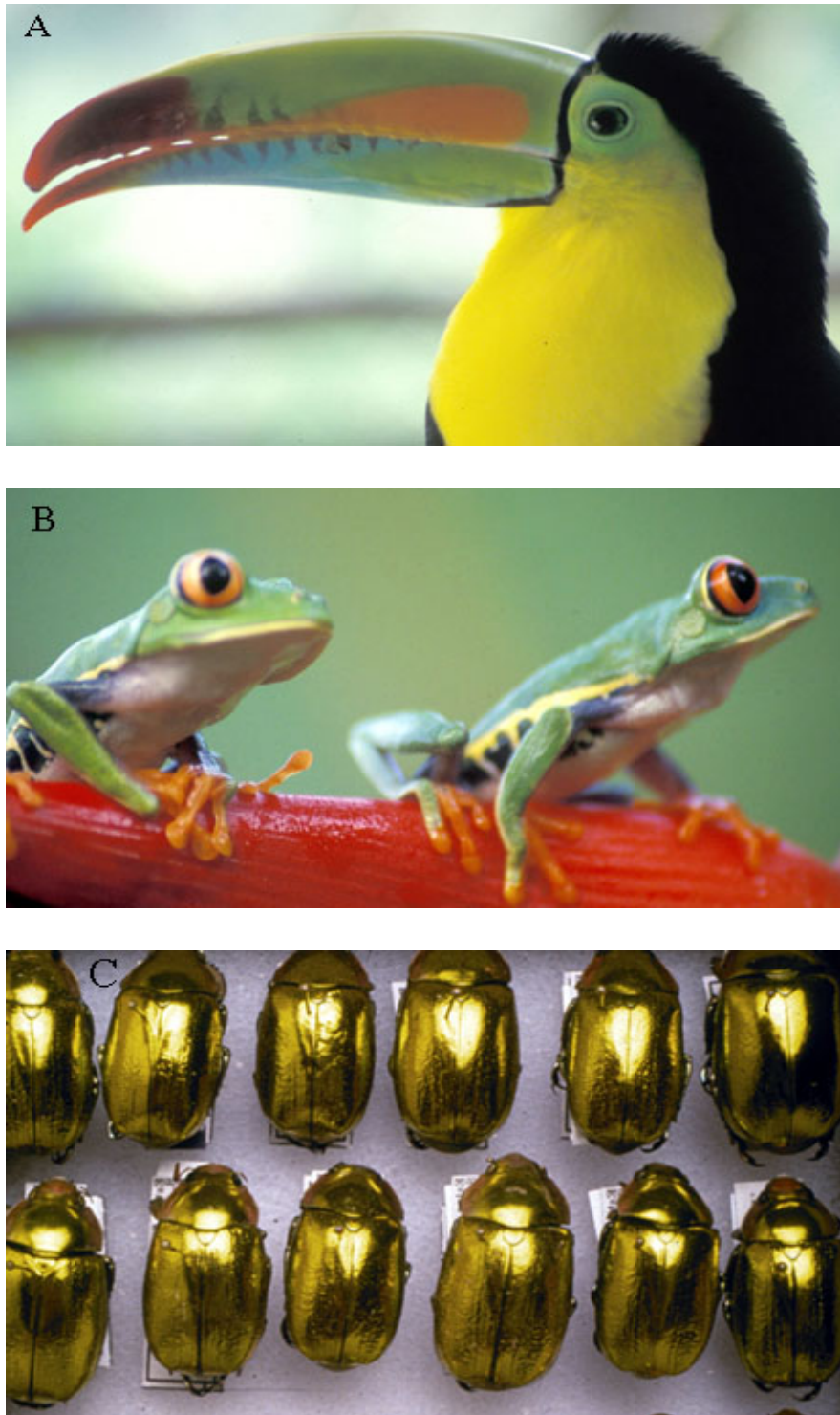


Figura 3. Algunas de las especies disponibles en las bases de datos de INBio. (A) Tucán de pico iris (*Ramphastos sulphuratus*) de las selvas de Costa Rica. Foto: Penélope Mendiguetti (B) *Agalychnis callidryas*, popular rana de Costa Rica que en su área de distribución (América Central) se encuentra amenazada por la pérdida de hábitat. Foto: Penélope Mendiguetti (C) Ejemplares de colección de una especie de escarabajo dorado (*Chrysina cupreomarginata*) de América Central. Foto: INBio.

La fase 5 de la evolución de sistemas bioinformáticos institucionales corresponde a un desarrollo de sistemas a nivel nacional que sigue siendo una tarea pendiente en Costa Rica. No obstante, desde el 2005, el INBio, la Organización de Estudios Tropicales, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación y el Museo Nacional trabajan coordinadamente con el objetivo de implementar en el 2006 un sistema interinstitucional de información sobre biodiversidad costarricense. La arquitectura a implementar es una de bases de datos distribuida que sigue los estándares sugeridos por GBIF.

En la actualidad, el programa de bioinformática del INBio y el sistema *Atta* participan activamente en iniciativas internacionales que corresponden a la fase 6 del esquema descrito en la sección anterior. *Atta* es el mayor proveedor de datos de especímenes de colecciones en todas las iniciativas que participa (GBIF y la red REMIB administrada por la CONABIO de México). Además, en el 2005 se seleccionó al [INBio](#) como institución coordinadora de las redes temáticas de especies y especímenes de IABIN (InterAmerican Biodiversity Information Network).

La estrategia bioinformática actual gira en torno al concepto de ladrillos básicos de información y corresponde a una transición de la fase 6 a la fase 7 de implantación de sistemas bioinformáticos. El siguiente párrafo resume el razonamiento detrás de este simple concepto.

Debido a la enorme complejidad inherente en el estudio de la biodiversidad (desde el nivel genético hasta el de ecosistema), a los grandes volúmenes de información involucrados (por ejemplo, millones de especies sólo en el continente americano) y a los millones de relaciones que se pueden establecer entre especies y entre éstas y el medio que las rodea, es imposible diseñar sistemas de información que presenten conocimiento para cualquier contexto. Más bien, se considera que la alternativa más factible es proceder, de manera incremental, desde los *ladrillos básicos de información* sobre especímenes, especies y ecosistemas, hasta otros niveles más altos de información y conocimiento que se obtienen al agregar información a estos ladrillos básicos y al combinarlos en estructuras de información (pirámides de información) que respondan a necesidades particulares (por ejemplo, especies invasoras, polinizadoras, etc.). Si los usuarios mismos pueden manipular y combinar estos ladrillos, ellos se encargarán de construir las pirámides de información apropiadas para sus necesidades.

En la actualidad, INBio ha generado aproximadamente tres millones de ladrillos a nivel de espécimen, tres mil quinientos a nivel de especie, y trescientos a nivel de ecosistema (5). Además, el sistema *Atta* sirve como mecanismo para combinar dinámicamente estas estructuras de información y obtener no solo referencias cruzadas como, por ejemplo, todos los ecosistemas en que se han encontrados especímenes de una especie dada, sino como base para actividades de modelaje y predicción como el modelaje de nichos ecológicos que permite predecir la distribución potencial de especies ante distintas condiciones bióticas y abióticas.

Conclusiones y trabajo futuro

El Instituto Nacional de Biodiversidad, INBio, ha desarrollado actividades bioinformáticas desde su propia concepción en 1989. Hoy en día, es reconocido como pionero y líder mundial en este campo, lo cual lo posiciona internacionalmente como Centro de Excelencia en el Desarrollo y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación para la Conservación de la Biodiversidad. Costa Rica es también un líder mundial en el tema de conservación de la biodiversidad. Sin embargo, como país, debe de escalar a un nivel mayor los esfuerzos bioinformáticos que INBio ha realizado en asociación con el Ministerio del Ambiente y otros actores nacionales e internacionales. Para llevar la exitosa experiencia de INBio a este nuevo nivel se requiere de la participación de otros actores y una inversión suplementaria en construcción de capacidad a nivel de entidades gubernamentales y no gubernamentales. El INBio tiene ante sí tres importantes retos en la agenda bioinformática del futuro inmediato.

Uno, de proyección externa, consiste en alcanzar la fase 7, apoyando, como Centro de Excelencia, el desarrollo de capacidad para crear una red nacional que maneje conocimiento sobre biodiversidad, tanto en Costa Rica, como en otros países. A partir de su experiencia y las necesidades de otras instituciones y los tomadores de decisiones se debe articular un proceso participativo, ambicioso y realista con este fin.

El segundo reto es más bien de carácter interno: nuevas y estimulantes opciones tecnológicas como el "open source", "web services", estándares internacionales para compartir información sobre biodiversidad (como el sistema ABCD), INTERNET II, ontologías para el procesamiento de conocimiento, visualización tridimensional de datos y otras no tan recientes pero que no hemos explotado (como los sistemas expertos), deben aprovecharse para desarrollar nuevos sistemas bioinformáticos más fácilmente adaptables a las necesidades de INBio y de otras instituciones. Además, no sólo están emergiendo nuevas tecnologías informáticas sino biológicas. Por ejemplo, las técnicas moleculares de identificación, mediante las cuales se puede identificar rápidamente una especie a partir de una sección de su ADN y una base de datos con secuencias que caracterizan a las especies del planeta, ciertamente son promisorias para apoyar la iniciativa GTI.

El tercer reto es seguir demostrando que países en vías de desarrollo pueden adaptar y crear tecnologías de información para apoyar la conservación de la biodiversidad, no sólo en su propio país, sino mediante colaboración sur-sur y sur-norte. Este reto es particularmente importante en cuanto señala que las limitaciones para que un país se desarrolle áreas como la bioinformática, no son de orden estrictamente tecnológico, sino educativas, específicamente de construcción de capacidad a nivel humano e institucional. En este sentido, la activa participación como mentor de países vecinos en el tema bioinformático (6), la coordinación de las redes temáticas de especies y especímenes de IABIN, y la reciente aprobación de la cátedra UNESCO en Informática para la Biodiversidad (7), primera de su tipo en el mundo, y que se está implementando coordinadamente en la Escuela de Computación del Instituto Tecnológico de Costa Rica y el INBio, son, a la vez, reto y oportunidad para desarrollar la capacidad humana e institucional necesaria para la conservación de la biodiversidad mediante sistemas digitales de manejo de conocimiento.

Nota (1). Se utiliza en este artículo la palabra bioinformática como traducción de *biodiversity informatics*. En español, esta palabra ha sido utilizada tanto como traducción de *bioinformatics* (que se enfoca en el uso de la informática en la biología, más específicamente la biología molecular) como de *biodiversity informatics*. [Volver](#)

Nota (2). La diferencia entre dato, información y conocimiento es subjetiva. Primero que todo, existe un continuo de niveles de información entre el dato crudo, no interpretado, y ese dato procesado mediante múltiples interpretaciones y agregaciones de información por parte de expertos y usuarios. Al resumirse este rango continuo en solamente tres niveles (dato, información y conocimiento) se generan discrepancias con respecto a dónde están los límites entre cada nivel. Por otro lado, lo que puede ser conocimiento para un tipo de usuario, puede ser un dato para otro. Por ejemplo, un ministro puede pedir a expertos que le ayuden a tomar una decisión, los expertos le brindan lo que ellos consideran conocimientos altamente sintetizados y el ministro posiblemente los considerará datos básicos de un conjunto aún mayor de datos que él debe interpretar y sintetizar con sus propios conocimientos. [Volver](#)

Nota (3). El nombre se escogió en honor a la hormiga *Atta cephalotes*, que representa el trabajo sistemático y ordenado que un sistema de información debe facilitar. Así como las *Atta cephalotes* acarrean constante y eficientemente fragmentos pequeños de hojas de un lugar a otro, el sistema de información se espera que "acarree" eficientemente bits (unos y ceros) de una computadora a otra. [Volver](#)

Nota (4). INBio coordinará estas dos redes con el apoyo de un consorcio conformado por 'Nature Serve' de EE.UU., el Instituto Alexander von Humboldt de Colombia, la Red de Herbarios de Mesoamérica y el Caribe, y el Museo Argentino de Ciencias Naturales. [Volver](#)

Nota (5). Como resultado de la implementación de esta estrategia a nivel institucional mediante *Atta*, INBio recibió en el año 2003, en EE.U.U., el premio Tech Museum of Innovation en la categoría ambiental (www.techmuseum.org), en el año 2004, en Cantabria, el premio Augusto González de Linares de Medio Ambiente, y en el 2005, en Argentina, el segundo lugar del Premio al Mejor Portal Iberoamericano, que entrega la Asociación Hispanoamericana de Centros de Investigación y Empresas de Telecomunicaciones. [Volver](#)

Nota (6). Con el apoyo financiero de NORAD y GBIF, INBio ha llevado a cabo programas de capacitación y mentoría a todos los países de Centroamérica, Argentina y, actualmente, Perú. [Volver](#)

Nota (7). Detalles de esta iniciativa se pueden consultar en la siguiente dirección en Internet: <http://www.itcr.ac.cr/catedraunesco>. [Volver](#)