

Evaluación de capacidades para el conocimiento: el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad como un estudio de caso

FEDERICO ESCOBAR, PATRICIA KOLEFF Y MATTHIAS RÖS

*No todo lo que puede ser contado cuenta
y no todo lo que cuenta puede ser contando.*

Aboites 2007

Introducción

Cualquier esfuerzo relacionado con la evaluación de las capacidades para el conocimiento de la biodiversidad de México es una tarea compleja, que en muchos de los casos resulta incompleta debido a la enorme cantidad de información sobre el tema. Adicionalmente, esta información está muy dispersa, debido a la desarticulación entre instituciones del sector académico y de gestión de carácter nacional y local y a la ausencia de una política nacional congruente sobre la importancia de la investigación como fuente primaria del conocimiento. Hoy, la investigación para promover el inventario de la diversidad biológica de México (una tarea inconclusa) es uno de los tantos temas relegados de la agenda gubernamental. El nivel de conocimiento que cada país tenga sobre su diversidad biológica resulta de gran valor para la planificación de políticas de desarrollo compatibles con el uso sostenible y la conservación de los recursos naturales. Por esta razón, es posible afirmar que el bienestar de una nación también está asociado con el grado de conocimiento que tenga de los distintos componentes que integran la biodiversidad contenida en su territorio (CONABIO, 2006). Esta idea adquiere mayor relevancia para el caso de México, no solo por su contribución a la diversidad global, que se expresa en una gran diversidad ecosistémica, en especies (12% del total mundial se encuentra en territorio mexicano) y genética, sino también porque dicha diversidad ha sido un catalizador de una enorme riqueza cultural y objeto de una larga tradición de uso que se remonta a la época prehispánica (Challenger, 1998).

En los últimos 100 años el estudio de la diversidad biológica en México, como en muchos otros países, ha estado relacionado con la creación y consolidación de las colecciones científicas, ligadas al desarrollo de los principales centros de enseñanza e investigación (Figura 1). Las colecciones científicas juegan un papel fundamental para documentar la distribución espacial y temporal de la biodiversidad. Actualmente, México cuenta con 193 colecciones biológicas (76 botánicas, 110 zoológicas y siete de

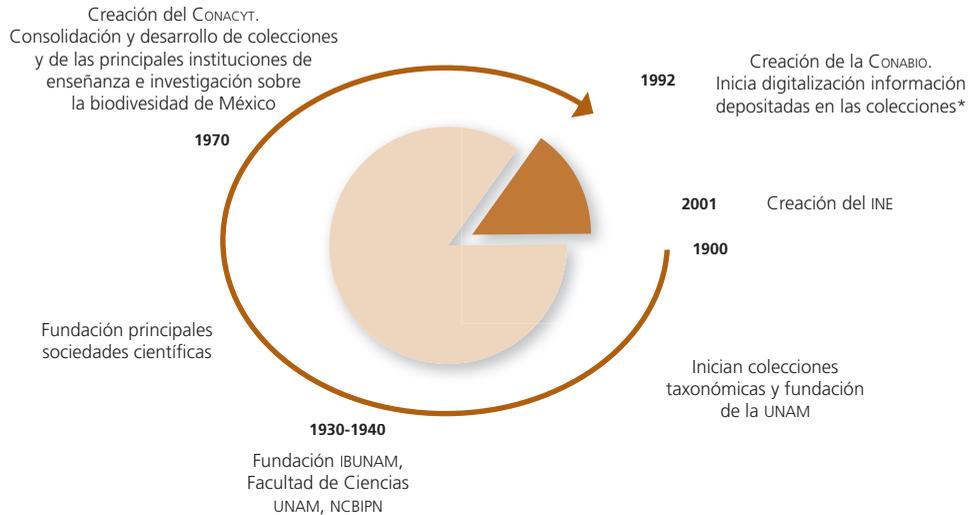


FIGURA 1. Esquematización de los principales acontecimientos a través del tiempo (1900-2008) relacionados con la consolidación de la capacidad de generar conocimiento sobre la biodiversidad de México. La fracción más oscura muestra el tiempo utilizado para la digitalización de la información y para ponerla a disponibilidad del público. De acuerdo con Llorente-Bousquets, Michán *et al.* (2008) actualmente existen 160 instituciones relacionadas con el estudio de la biodiversidad y 186 colecciones taxonómicas, las cuales albergan cerca de 11.5 millones de ejemplares y cuentan con 370 investigadores asociados.

microbiología) (Llorente-Bousquets, Michán *et al.*, 2008), muchas de las cuales no han sido aún digitalizadas, lo que dificulta el acceso a la información. De acuerdo con estos autores, las cuatro últimas décadas han sido de vital importancia para el estudio de las ciencias naturales en México, en particular para el desarrollo de la taxonomía, disciplina sin la cual el estudio de la diversidad biológica carece de sentido (Wilson, 2004). La creación del CONACYT en la década de 1970 dio un impulso definitivo al sistema de estudios de posgrado y a los centros de investigación SEP-CONACYT, favoreciendo la investigación en torno al conocimiento de la biodiversidad. A pesar de los avances el rezago es enorme.

En cumplimiento de los compromisos que exige el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), la Estrategia Nacional sobre la Biodiversidad de México (CONABIO, 2000) reconoce que la falta de conocimiento y la poca accesibilidad a la información son las mayores dificultades en el avance eficiente en materia de protección, manejo y uso sustentable de los recursos naturales. Los estudios básicos y aplicados sobre la biodiversidad requieren de información lo más exacta posible sobre la identidad y distribución de las especies (Soberón y Peterson, 2004; Sastre y Lobo, 2008). Con el propósito de atender este vacío de información, la estrategia incluye entre sus líneas

prioritarias de acción el fortalecimiento de las labores de inventario, el rescate y la sistematización de conocimientos tanto científicos como tradicionales y el intercambio de información.

Desde su creación en 1992, uno de los objetivos centrales de la CONABIO ha sido promover la generación, compilación, manejo, análisis y divulgación de información sobre la diversidad biológica de México. Para compilar, organizar y distribuir esta información se creó el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB) de México. Concebido de esta manera, el SNIB es el mecanismo facilitador para dar disponibilidad al conocimiento, es el puente o punto de contacto entre el sector académico (generador de la información) y los tomadores de decisiones y el público en general (usuarios de la información). El SNIB integra las bases de datos sobre las especies con información sobre sus poblaciones, usos y amenazas, así como con un conjunto amplio de coberturas geográficas digitales de diversos temas y a distintas escalas, imágenes de satélite, fotografías, ilustraciones y publicaciones (www.conabio.gob.mx/institucion/snib/doctos/acerca.html). Por lo tanto, el SNIB puede ser considerado como uno de los resultados más tangibles del esfuerzo nacional de los últimos 15 años en torno al conocimiento de la biodiversidad de México.

Dada la magnitud de la diversidad biológica de nuestro país la CONABIO otorga apoyo financiero a proyectos realizados por expertos en los diversos temas, cuyos resultados le son útiles para lograr sus objetivos y cumplir sus funciones. Estos proyectos se presentan en respuesta a convocatorias y a políticas específicas sobre temas que se consideran prioritarios en el programa anual de actividades de la CONABIO, o bien se realizan por encargo cuando, de acuerdo con esas prioridades y programas, se requiere obtener información específica sobre cierto tema o asunto.

Uno de los componentes de importancia estratégica del SNIB son las bases de datos que documentan la presencia de una especie en un lugar y tiempo determinados (bases de datos biogeográficos), basadas principalmente en los datos de ejemplares que albergan las colecciones científicas y por nuevas recolectas en campo, así como las listas de los nombres de especies (catálogos taxonómicos). Estos datos han sido ampliamente usados por distintos sectores, ya sea en el sitio web de la CONABIO (www.conabio.gob.mx) o por consultas directas a través del área de servicios externos (CONABIO, 2007).

Dos antecedentes que cabe mencionar para este análisis son: *La diversidad biológica de México: Estudio de país* (CONABIO, 1998), y *Capital natural de México* (CONABIO, 2008 a y b; CONABIO, 2009). Ambos trabajos, además de ratificar el compromiso de México ante el CDB, son los puntos de referencia obligados a nivel nacional e internacional para entender cómo se ha acumulado el conocimiento que México tiene sobre los distintos componentes de la diversidad biológica del país, *i.e.*, sobre la diversidad genética de las especies silvestres y cultivadas; la diversidad de especies de plantas,

animales y microorganismos que se han descrito de nuestro territorio y cómo se distribuyen, y de los tipos de ecosistemas que hay en México, considerando cómo se estructuran y funcionan en el tiempo y en el espacio, así como los factores que ponen en riesgo el manejo y la conservación de dicha biodiversidad.

De la comparación de estos estudios resalta el avance logrado por México en torno al conocimiento de la biodiversidad. El trabajo de 1998, *La diversidad biológica de México: Estudio de país*, integrado por nueve capítulos, es el primer intento de síntesis de la información disponible hasta ese momento, que como señalan sus propios autores, es una contribución meramente descriptiva sin ningún diagnóstico y con cuatro limitaciones principales: 1) ausencia de conocimiento en áreas específicas (cuentas nacionales, conservación *ex situ*, grupos biológicos), 2) sesgo en la generación de conocimiento biológico en el ámbito nacional, 3) carencia de fuentes de información sistematizada y confiable, y 4) falta de disponibilidad de la información (para uso exclusivo de la instancia responsable de producirla). Una década después, tan solo el primer volumen (CONABIO, 2008a) —de los cinco que integran la obra *Capital natural de México*— es el resultado del trabajo conjunto de instituciones de gobierno e instituciones de investigación y educación superior, así como de organizaciones civiles, y muestra el crecimiento y diversificación que ha tenido el país, no solo en términos de capacidades y recursos humanos, sino también en la madurez de sus instituciones. Cabe resaltar que en dicho volumen participaron más de 269 autores, se citaron aproximadamente 2 600 referencias bibliográficas y se hizo uso extensivo de la cartografía digital y la información de los registros de tres millones de ejemplares de las bases de datos disponibles en el SNIB.

A más de 15 años de compilar los primeros resultados de las bases de datos biogeográficas y de algunos estudios previos sobre su desempeño (Soberón *et al.*, 2007; 2008, en prensa), en el presente trabajo se realiza la evaluación más completa de los logros y limitaciones de este componente del SNIB. Como estudio de caso, se puede dar seguimiento —como pocos casos en el país lo permiten— a los resultados de la inversión realizada por México para generar una de las herramientas a través de la cual disponer de información para la toma de decisiones sobre su biodiversidad.

En el contexto de este estudio también es necesario reconocer: 1) que el conocimiento actual sobre la biodiversidad de México es el resultado de un esfuerzo acumulado de más de 150 años, desde la creación de las primeras colecciones científicas (Llorente-Bousquets, Michán *et al.*, 2008) y, 2) que cualquier análisis de la inversión para conocer la biodiversidad es una subestimación, debido a la imposibilidad de cuantificar la inversión realizada durante este lapso de tiempo para consolidar la infraestructura y mantener las colecciones científicas en buen estado, para conocer la inversión dedicada a la formación y capacitación de investigadores, y para estimar el gasto incurrido para la búsqueda y colecta de ejemplares en el campo, entre otros.

A pesar de las limitaciones, creemos que un análisis detallado de cómo se ha distribuido la inversión para conocer y documentar la biodiversidad de México y dar acceso a dicha información, utilizando al SNIB como estudio de caso, será de gran utilidad para evaluar el nivel de conocimiento taxonómico adquirido y de la distribución espacial de la información, y de esta forma determinar prioridades de investigación que permitan avanzar de forma más eficiente en el inventario nacional de la biodiversidad. El objetivo central de este estudio es evaluar en forma comparativa, usando 13 grandes grupos, el nivel de conocimiento sobre la representación taxonómica (registros-especies) y la representación geográfica (registros-localidades) con relación a la inversión realizada hasta el momento para la integración de información taxonómica y biogeográfica al SNIB. Finalmente, se hace una breve síntesis de la magnitud del uso de la información contenida en el SNIB.

Metodología

Las fuentes y la depuración de la información

Para el análisis se utilizaron tres fuentes de información: a) un subconjunto de los datos integrados en el SNIB, b) un catálogo taxonómico de las especies de México y c) datos del costo de los proyectos financiados para alimentar el SNIB.

- a) SNIB: Está integrado por más de cuatro millones de registros como resultado de 15 años continuos de digitalización de la información sobre las especies que habitan el territorio nacional. Para el análisis se utilizó un subconjunto de tres millones de registros, pertenecientes a 13 grandes grupos taxonómicos: cuatro grupos de plantas, ocho de animales (cinco grupos de vertebrados y tres de invertebrados) y de hongos (Cuadro 1). Este subconjunto de datos incluye los registros aportados por los proyectos financiados hasta el 2006, que han pasado por el proceso de control de calidad (validación taxonómica con los catálogos disponibles y validación geográfica de las coordenadas respecto al estado y municipio que se indican en la descripción de la localidad) y que actualmente están disponibles al público y con los que se brindan numerosas consultas de información y opiniones técnicas.
- b) Catálogo taxonómico de las especies de México: En el contexto de los inventarios nacionales, los catálogos de especies representan uno de los ejes del conocimiento y constituyen la base indispensable para la comunicación y el intercambio confiable de la información. La integración de la información de los nombres científicos de la flora y fauna de México ha sido financiada por la CONABIO y se basa fundamentalmente en publicaciones recientes (descripciones y monografías) y en los catálogos de autoridades taxonómicas, así como en la revisión por parte de expertos invitados

para la validación de los listados previamente compilados. El catálogo incluye más de 72 mil nombres válidos, de los cuales aproximadamente 68 mil cuentan con fecha de descripción (Ocegueda y Llorente-Bousquets, 2008). Este catálogo fue utilizado como “filtro” en el análisis del nivel de conocimiento de cada grupo taxonómico en el SNIB.

- c) Datos de costos de los proyectos: Como parte del seguimiento y control del SNIB se cuenta con una base de datos con el historial general de cada uno de los proyectos financiados. La lista de proyectos incluyendo la clave de identificación, título del proyecto, responsable(s), institución(es) y año de inicio del estudio se presenta en el Anexo 1. Se puede consultar más información con un breve resumen de los resultados más importantes de cada proyecto en: www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/doctos/proyectosapoyados.html

CUADRO 1. Volumen de información utilizada para cada variable en cada ruta de análisis. En la ruta 1, la disminución en el volumen de la información se debe a la eliminación de registros sin coordenadas, registros fuera de la plataforma continental o fuera de los límites políticos del país. En la ruta 2, la disminución se debe al filtro impuesto por el catálogo de nombres.

Grupo taxonómico	Periodo	SNIB	Registros (1 x 10 ³)		Localidades ^a (1 x 10 ³)		Costo (1 x 10 ³)	
			Ruta 1 Análisis espacial	Ruta 2 Análisis temporal	Ruta 1 Análisis espacial	Ruta 2 Análisis temporal	Ruta 1 Análisis espacial	Ruta 2 Análisis temporal
Angiospermas	14	1325.84	1048.86	848.14	177.13	86.00	61626.48	55286.51
Gimnospermas	13	17.21	15.02	13.15	8.43	6.80	1297.10	1352.73
Pteridofitas	13	44.98	42.26	27.86	10.59	6.62	1810.02	1620.64
Briofitas	4	42.38	25.50	23.61	2.84	2.08	690.18	647.27
Hongos	8	38.46	38.00	34.00	3.87	3.60	2617.80	2403.63
Aves	9	215.38	181.80	173.40	15.79	15.28	9127.30	8751.38
Mamíferos	13	369.81	356.10	333.42	14.64	14.46	5313.44	5180.28
Peces	9	62.53	61.16	54.76	9.10	8.19	2595.56	2519.17
Reptiles	12	133.72	120.64	94.30	21.57	16.13	5264.29	4609.89
Anfibios	12	96.78	46.49	38.91	5.49	5.14	7753.37	6443.13
Artrópodos	12	526.80	482.07	400.44	9.56	8.73	15428.02	14306.46
Invertebrados*	10	80.10	28.93	12.29	2.00	1.23	5398.06	1710.42
Crustáceos	7	56.92	29.91	17.46	2.03	1.56	1852.57	1160.37
Total		3010.89	2042.87	2071.74	283.04	175.81	120774.18	105991.88

^a Para obtener un valor único e irreplicable de cada punto geográfico se aplicó la siguiente fórmula: Localidad= latitud x longitud / Ln (latitud

* No artrópodos

Dado que el financiamiento de los proyectos para alimentar el SNIB abarca un periodo de 15 años, fue necesario actualizar los costos para el análisis. La actualización se hizo teniendo en cuenta la inflación acumulada desde la fecha de inicio de cada proyecto hasta agosto del 2008, y se realizó de la siguiente forma: i) del sitio web del Servicio de Administración Tributaria (SAT) (www.sat.gob.mx/nuevo.html) se obtuvieron los índices mensuales del INPC (Índice Nacional de Precios al Consumidor), ii) se obtuvo el porcentaje de inflación mensual, dividiendo el INPC del mes al que se desea actualizar entre el mes que se actualiza y (iii) una vez calculado el porcentaje de inflación de cada uno de los meses desde el año de 1992 a la fecha, se multiplicó el costo total del proyecto (incluyendo el IVA) por el porcentaje de inflación del mes en que se firmó el convenio y al resultado de esta operación se le sumó el costo total original del proyecto.

El análisis de los datos

En la Figura 2 se ilustra el proceso de análisis, el cual está compuesto por dos rutas: 1) análisis espacial y 2) análisis temporal. La primera ruta tiene como propósito visualizar la distribución espacial de los registros, el costo, el número de localidades y el número de registros por localidad de cada uno de los grupos taxonómicos seleccionados para el estudio. La segunda ruta tiene el objetivo de evaluar de forma comparativa el crecimiento de la representación taxonómica a través del tiempo de cada grupo biológico en relación con el número de registros, el costo y el número de localidades.

Ruta 1. Análisis espacial. Para el análisis espacial se utilizó una malla que divide al país en cuadrículas de 0.5 grados (CONABIO, 1999). De esta subdivisión resultan 1 134 cuadrículas de aproximadamente 2 500 km², de las cuales 255 (22.5%) están ubicadas a lo largo de la costas o en las fronteras, abarcando cada una de ellas menos de 1% del área total de una cuadrícula completa. Con el programa ArcView® se asignó a cada registro una cuadrícula según sus coordenadas (latitud y longitud) y se elaboraron cuatro mapas temáticos para cada grupo taxonómico: registros por cuadrícula, costo por cuadrícula, localidades por cuadrícula y registros por localidad. El conjunto completo de mapas (52 en total) se presentan en el Anexo 2. Para generar un valor único e irreplicable de cada punto geográfico se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Localidad} = \frac{\text{latitud} \times \text{longitud}}{\text{Ln}(\text{latitud})}$$

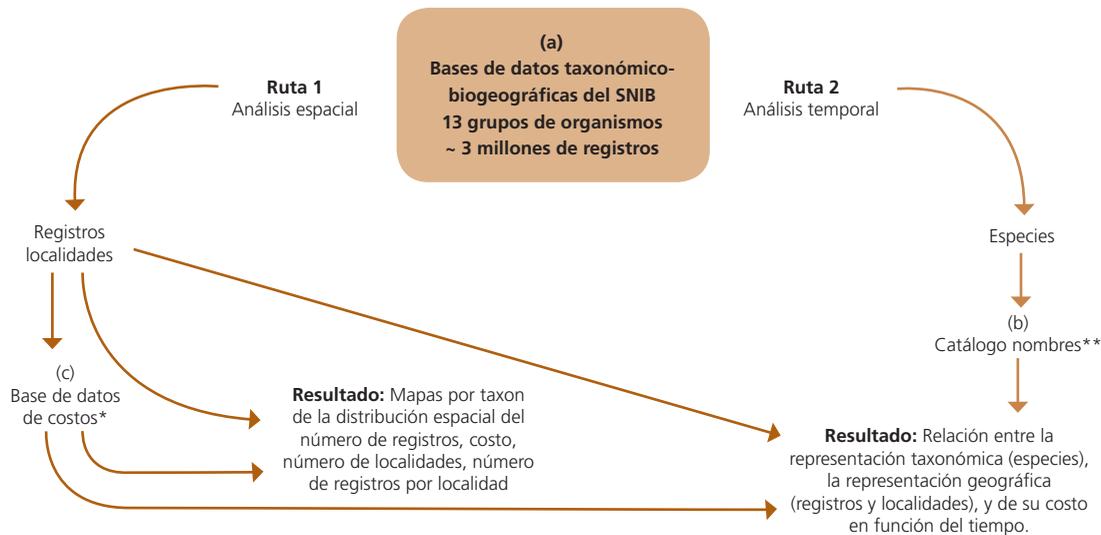


FIGURA 2. Diagrama de flujo ilustrando los insumos, las rutas del proceso de análisis y los resultados más importantes: Ruta 1) Análisis espacial de cada grupo taxonómico utilizando como base cartográfica la superficie de México subdividida en cuadrantes de 0.5° (equivalentes a 2 500 km²), Ruta 2) Análisis temporal del incremento de la representación taxonómica vs la representación geográfica de cada grupo taxonómico integrado al SNIB. Ver metodología para los detalles de la forma de estimar el costo* actualizado de los registros (agosto 2008). El catálogo taxonómico** fue utilizado como filtro para validar los nombres de las especies. Las letras se refieren a los insumos utilizados en cada paso del proceso de análisis (ver Metodología).

Ruta 2. Análisis temporal. Usando el tiempo (años) como unidad de esfuerzo se generaron cinco matrices de datos: presencia / ausencia de las especies por año, número de registros por especie por año, costo acumulado por especies por año y número de localidades por año. Con base en esta información se elaboraron curvas de la proporción acumulada observada de las especies, de los registros, de las localidades y de la inversión realizada en función del tiempo.

Con el propósito de evaluar el nivel de representación taxonómica de cada grupo taxonómico en el SNIB, utilizamos las predicciones de la riqueza de especies realizadas por los expertos de cada grupo (ver Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008; Cuadro 2) y los valores de riquezas estimadas mediante Michaelis-Menten (MM), disponible en el programa EstimateS v. 8.0.0 (Colwell, 2006). MM es uno de los estimadores paramétricos más robustos y apropiado para inventarios a escalas geográficas amplias de grupos taxonómicos relativamente poco conocidos (Soberón y Llorente-Bousquets, 1993).

CUADRO 2. Riqueza de especies de cada grupo taxonómico filtradas con el catálogo taxonómico y las predicciones basadas en las especies estimadas para México de acuerdo con el conocimiento de los expertos (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008) mediante Michaelis-Menten (MM), una de las funciones asintóticas más robustas para estimar la riqueza de especies de un inventario (detalles en Soberón y Llorente-Bousquets, 1993). En las especies estimadas por los expertos, en algunos casos se incluye el rango de la estimación teniendo en cuenta otras fuentes bibliográficas: angiospermas (Toledo, 1993; Villaseñor, 2004), pteridofitas (Lira y Riba, 1993), hongos (Guzmán, 1998). Para el caso de los artrópodos y grupos relacionados solo se incluyen los valores de la estimación derivada del reciente trabajo de síntesis del conocimiento de la diversidad de especies realizado por Llorente-Bousquets y Ocegueda (2008). Sin embargo, es necesario mencionar que en la obra compilada por Llorente-Bousquets entre 1996 y 2004 se estima que la riqueza para estos grupos se acerca a las 500 mil especies.

Grupo taxonómico	Especies en el SNIB	Únicos	Duplicados	Especies estimadas por los expertos	MM
Angiospermas	14 185	3 119	2 475	22 000 - 30 000	17 982
Gimnospermas	165	51	20	150?	281
Briofitas	1 514	972	425	2 000?	3 274
Pteridofitas	757	154	138	1 000 - 1 100	1 098
Hongos	1 778	1 203	368	12 000 - 120 000	19 923
Aves	1 005	114	140	1 167	1 315
Mamíferos	408	17	61	600	495
Peces	1 291	453	287	2 689	8 746
Reptiles	613	175	99	812	1 006
Anfibios	274	88	59	371	495
Artrópodos	5 246	3 804	811	91 119 - 117 869	491 6847
Invertebrados*	1 172	888	204	23 846	14 286
Crustáceos	705	556	117	5 857	2 280
Total	29 113	11 594	5 204	164 711 - 304 461	4 988 033

* No artrópodos

Para una estimación del número de registros necesarios y el costo para incorporar al SNIB todas las especies conocidas para México de cada grupo, bajo el supuesto de que uno de los mayores intereses en el corto plazo es maximizar la representación taxonómica, se utilizaron curvas de acumulación de especies aleatorizadas basadas en: i) los registros (curva basada en los registros) y ii) el costo de los registros (curva basada en los costos). Ambos tipos de curvas se elaboraron con ayuda del programa EstimateS v. 8.0.0 (Colwell, 2006). Dichas estimaciones se realizaron bajo dos escenarios distintos: uno teniendo en cuenta solo el incremento en el número de especies en el SNIB durante el último año (esto es, que el patrón de adición de nuevas especies no cambiará en los próximos años), y un segundo teniendo en cuenta la tasa promedio de incremento

de especies a lo largo del tiempo. En ambos casos trabajamos bajo el supuesto que la tendencia y la magnitud de la inversión son similares a las realizadas hasta el momento en cada grupo taxonómico.

Como un resultado del proceso de depuración de los datos, el volumen de información utilizado en cada ruta de análisis es menor respecto al total (Cuadro 1). En la primera ruta, se descartaron los registros que carecen de coordenadas y los registros fuera de la zona continental. En la segunda ruta de análisis, el catálogo de nombres taxonómicos eliminó aquellos registros cuyo nombre específico no aparece en dicha lista (Cuadros 1 y 2). Este proceso de filtrado, además de permitirnos trabajar con la información geográfica y taxonómica más confiable, también nos sirve como un indicador del nivel de resolución de la información y permite señalar los grupos taxonómicos en donde es necesario acentuar el trabajo de validación taxonómica y geográfica de los registros en la base de datos.

El proceso de depuración descartó 941 mil registros (31% del total; Cuadro 1). De este total, 260 mil carecen de coordenadas y un poco más de 400 mil registros no coinciden con nombres válidos en el catálogo taxonómico. En este último grupo, las angiospermas (49%) y los artrópodos (20%) aportan el mayor número de registros y en un menor grado, los reptiles (6%), las aves (6%), los invertebrados (no artrópodos; 4%), los crustáceos (4%) y las pteridofitas (4%). El porcentaje restante corresponde a registros fuera de la zona continental o fuera de los límites políticos del país (es importante recordar que no se consideró cartografía insular para validar los posibles registros en islas).

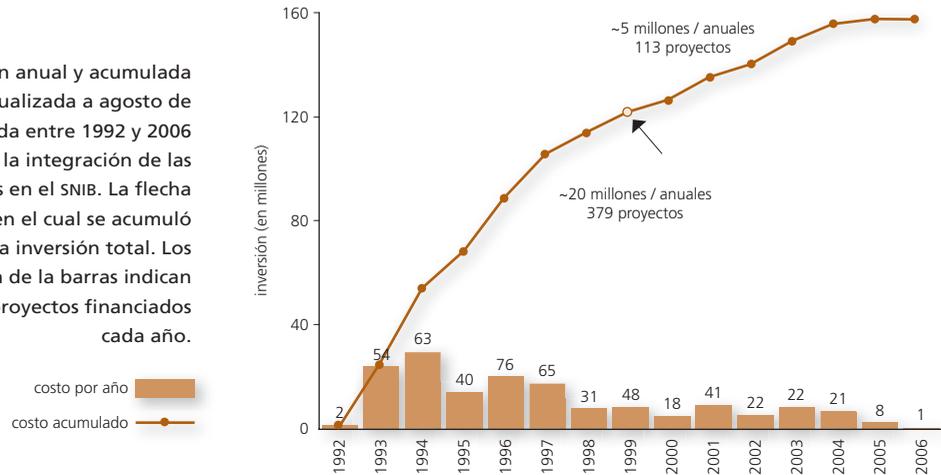
Principales resultados

Descripción general de la inversión

Entre 1992 y 2006 la inversión total realizada para la integración de los tres millones de registros (provenientes de 283 mil localidades y pertenecientes a 53 mil especies) al SNIB tuvo un costo de 158 millones de pesos (\approx 11 millones de dólares). El número total de proyectos financiados durante este periodo fue de 512, mismos que estuvieron bajo la responsabilidad de 356 investigadores pertenecientes a 58 instituciones (Figura 3, Anexo 1).

Del total de proyectos financiados, 383 han sido ejecutados por 31 universidades, 89 por siete centros SEP-CONACYT, 16 por diez ONG y 24 por distintos organismos públicos, principalmente del nivel federal (SEMARNAT, SALUD, SEMAR, INAH, SAGARPA). Del total de instituciones financiadas, siete de ellas (UNAM, IPN, INECOL, ECOSUR, UAM, UANL, CICY) han ejecutado 360 proyectos con un valor total de 114 millones de pesos (72.6% del total invertido) (Anexo 2).

FIGURA 3. Inversión anual y acumulada en pesos (actualizada a agosto de 2008) realizada entre 1992 y 2006 para financiar la integración de las bases de datos en el SNIB. La flecha indica el año en el cual se acumuló 77% de la inversión total. Los números encima de las barras indican el número de proyectos financiados cada año.



El 77% de la inversión total se realizó entre 1992 y 1999, periodo en el cual se financiaron 379 proyectos. Durante este periodo la tasa de inversión fue cercana a los 20 millones de pesos anuales. Después del año 2000 la tasa de inversión se redujo cuatro veces, lo cual se refleja en el número total de proyectos apoyados (133; Figura 3). Dicha reducción tuvo un impacto notorio en las tasas de incorporación de nueva información para la mayoría de los grupos analizados y por lo tanto, en el balance general entre la representación taxonómica y la representación geográfica de cada grupo taxonómico en el SNIB (ver análisis temporal de la información).

En conclusión, la inversión ha estado concentrada en aquellas instituciones que tienen el mayor liderazgo en el estudio de la biodiversidad a nivel nacional, y que pueden además, como en el caso de la UNAM, el INECOL y el ECOSUR, albergar colecciones biológicas representativas de varias regiones del país. Este análisis también pone de manifiesto la necesidad de fortalecer la capacidad de investigación sobre la biodiversidad de las instituciones ubicadas en las regiones poco conocidas, con el propósito de avanzar de una manera más eficiente no solo en su inventario, sino también en el desarrollo de investigación sobre su uso y conservación.

Magnitud de la inversión y el nivel de conocimiento

Tres grupos taxonómicos —angiospermas, artrópodos y mamíferos— concentran 74% de la inversión total realizada hasta el momento en las bases de datos biogeográficas del SNIB (Cuadro 1). Aunque dicha inversión se refleja en una mayor porción de registros para estos grupos solo en el caso de las aves la representación taxonómica supera 90% del total de especies conocidas para México, mientras que la representación taxono-

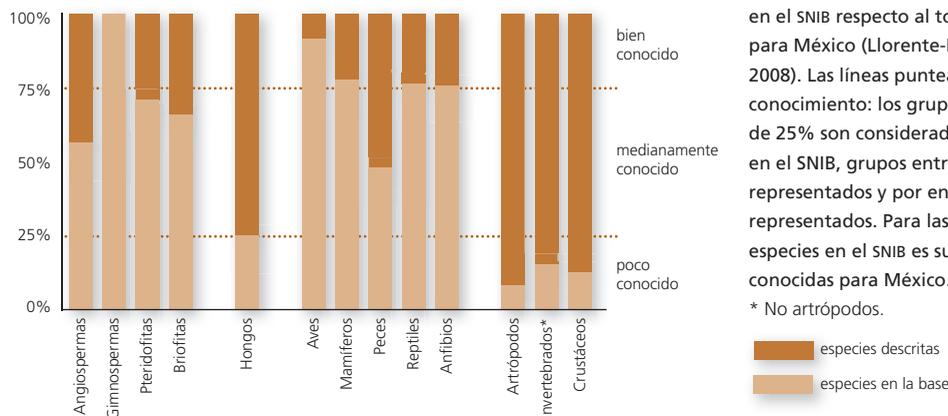


FIGURA 4. Nivel del conocimiento de la riqueza de especies de cada grupo taxonómico representados en el SNIB respecto al total de especies descritas para México (Llorente-Bousquets y Ocegueda, 2008). Las líneas punteadas señalan los niveles del conocimiento: los grupos taxonómicos por debajo de 25% son considerados como poco representados en el SNIB, grupos entre 25% y 75% medianamente representados y por encima del 75% bien representados. Para las gimnospermas el número de especies en el SNIB es superior al número de especies conocidas para México.

* No artrópodos.

especies descritas
especies en la base

nómica de las angiospermas se aproxima a 55% del total de especies conocidas y la de los artrópodos terrestres a 8.7% (Figura 4).

Para el resto de los vertebrados — mamíferos, peces, anfibios y reptiles—, en los cuales la inversión se puede considerar moderada, el SNIB alberga un porcentaje importante (más de 75%, excepto para los peces) de las especies hasta el momento descritas para cada uno de estos grupos en el país (Cuadro 1, Figura 4). Esto se ha visto favorecido en gran parte por una larga tradición de estudios taxonómicos y biogeográficos de los vertebrados en México.

Otro aspecto que emerge de este análisis es la escasa inversión realizada, que es de menos de 5% del total, en grupos taxonómicos con una elevada riqueza de especies, pero también proporcionalmente con un menor número de especialistas en el país, como es el caso de los invertebrados (no artrópodos), los crustáceos y los hongos (Cuadro 1). Como consecuencia de esto, los tres grupos están pobremente representados en el SNIB y aportan menos de 6% del total de registros (Figura 4, Cuadro 1). A este problema se suman grupos aún menos conocidos, que apenas empiezan a ser incorporados al SNIB, como es el caso de algas y microorganismos, los cuales no fue posible analizar debido a la escasa información disponible.

Al examinar con detalle la distribución de frecuencia de las especies de cada grupo taxonómico con relación al número de registros depositados en el SNIB, se observa que de los 13 grupos analizados, cinco (angiospermas, mamíferos, aves, reptiles y anfibios), están representados, en promedio, por más de 100 registros/especie (Figura 5), seguidos por las gimnospermas y los artrópodos con cerca de 80 registros/especie. En el resto de grupos taxonómicos (pteridofitas, briofitas, peces, hongos, invertebrados y crustáceos), el promedio fluctúa entre 36.8 y 10.5 registros/especies. En este último

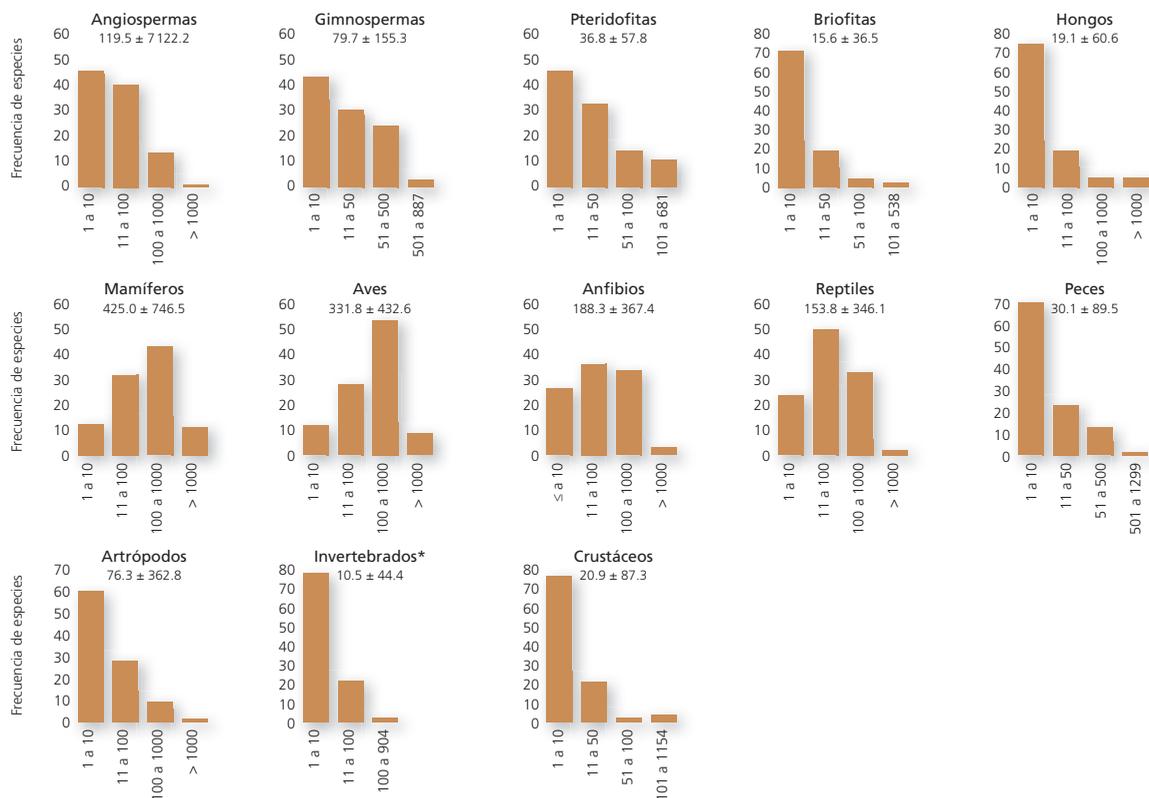


FIGURA 5. Distribución de la proporción de especies de cada grupo taxonómico de acuerdo al número de registros depositados en el SNIB. Las categorías varían de acuerdo al grupo taxonómico. Nótese que en los vertebrados, excepto los peces, una porción importante de las especies (30% a 52%) poseen más de 100 registros. Para el resto de grupos taxonómicos, entre 45% y 76% de las especies poseen < 10 registros.

* No artrópodos

conjunto, tres cuartas partes de las especies están representadas por menos de 10 registros (Figura 5).

Análisis espacial (ruta 1)

Uno de los resultados más relevantes del análisis espacial de la información es que, independientemente de las diferencias en la inversión realizada por grupo taxonómico (Cuadro 1), en todos los casos el conocimiento de la diversidad del país dista de ser homogéneo (los detalles pueden ser consultados en los anexos 2a, 2b y 2c). En algunos grupos, una mayor inversión no necesariamente ha redundado en un mejor conocimiento taxonómico y biogeográfico de las especies. A la escala considerada, el

promedio de cuadrículas por grupo taxonómico que contienen entre 0 y 10 registros fue de 66%. De igual forma, el balance de localidades por cuadrícula muestra que en promedio 79% de éstas contienen menos de 10 localidades (Cuadro 3), indicándonos que amplias regiones del país permanecen aún sin explorar. Por esta razón, cuando se examina el número de registros por localidad como un indicador del nivel de conocimiento del inventario a escala local, se observa que en promedio 84% de las localidades incorporadas al SNIB tienen menos de 10 registros (Cuadro 3).

Una consecuencia lógica de la agregación de la información en términos espaciales es la concentración de la inversión en ciertas regiones del país (Anexo 2d). En términos generales, 70% de la inversión total realizada hasta el momento en cada grupo

CUADRO 3. Número de cuadrículas (total: 1 134) que contienen ≤ 10 registros y ≤ 10 localidades para cada uno de los grupos taxonómicos analizados. También se presenta el número de registros por localidad como indicador del nivel de conocimiento del inventario a escala local. Entre paréntesis en cada columna se presenta el porcentaje respecto al total. Para el total de localidades de cada grupo ver Cuadro 1.

Grupo taxonómico	Núm. de cuadrículas que contienen entre 0 y 10 registros (%)	Núm. de cuadrículas que contienen entre 0 y 10 localidades (%)	Núm. de localidades que contienen entre 1 y 10 registros (%) ^a
Angiospermas	285 (25.13)	341 (30.07)	156 621 (88.42)
Gimnospermas	906 (79.89)	967 (85.27)	8 328 (98.86)
Pteridofitas	838 (73.90)	933 (82.28)	9 854 (93.09)
Briofitas	957 (84.39)	1 074 (94.71)	2 259 (79.43)
Hongos	976 (87.06)	1 062 (93.65)	3 182 (82.29)
Aves	739 (65.17)	816 (71.96)	10 802 (73.77)
Mamíferos	514 (45.33)	765 (67.46)	12 282 (77.80)
Peces	703 (61.99)	985 (86.86)	4 532 (82.52)
Reptiles	476 (41.98)	672 (59.26)	19 603 (90.89)
Anfibios	743 (65.52)	930 (82.01)	8 000 (87.89)
Artrópodos	696 (61.38)	917 (80.86)	7 100 (74.30)
Invertebrados*	927 (81.75)	1 097 (96.74)	1 516 (75.69)
Crustáceos	950 (83.77)	1 091 (96.21)	1 709 (83.94)
Promedio \pm DE	746.92 \pm 213.99 (65.87 \pm 18.87)	896.15 \pm 211.22 (79.03 \pm 18.63)	18 906.77 \pm 41 690.07 (83.76 \pm 7.73)
Rango	285 (25.13) 976 (87.06)	341 (30.07) 1 097 (96.74)	1 515 (75.69) 156 621 (88.42)

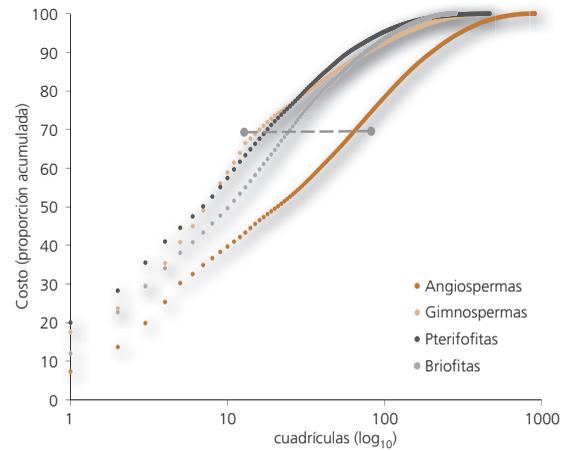
^a Para obtener un valor único e irrepetible de cada punto geográfico se aplicó la siguiente fórmula: Localidad= latitud x longitud / Ln (latitud)

* No artrópodos

taxonómico se acumula en un número reducido de cuadrículas, que no rebasa 16% del total de cuadrículas con información (Figuras 6 a 8). Este resultado nos sugiere que taxónomos, biólogos y colectores visitan las mismas localidades a través del tiempo, y que presumiblemente se trata de las áreas más accesibles. La mayoría de los grupos contienen una proporción importante de registros provenientes de las áreas cercanas a los grandes centros urbanos en donde se ubican las principales colecciones biológicas e instituciones de investigación, así como a lo largo de las principales carreteras del país. Lo anterior contribuye a explicar en parte la escasa representación taxonómica de algunos grupos en el SNIB.

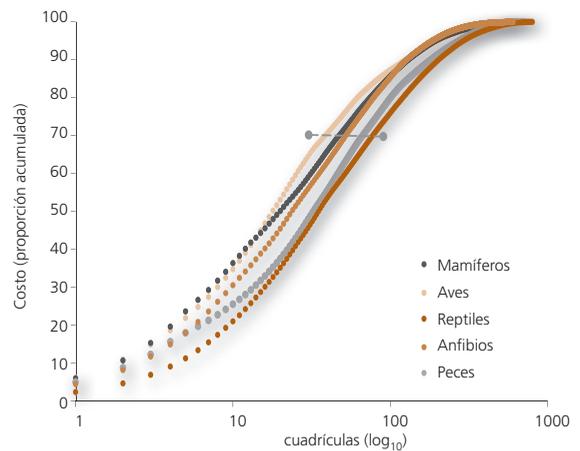
Plantas	Núm. cuadrículas que acumulan 70% de la inversión (TCI)*	% de registros acumulados	% de localidades acumuladas	registros / localidad
Angiospermas	67 (908)	44.17	29.77	7.71
Gimnospermas	16 (476)	18.14	17.16	1.88
Pteridofitas	18 (468)	41.31	26.43	6.24
Briofitas	26 (285)	63.11	48.6	11.65

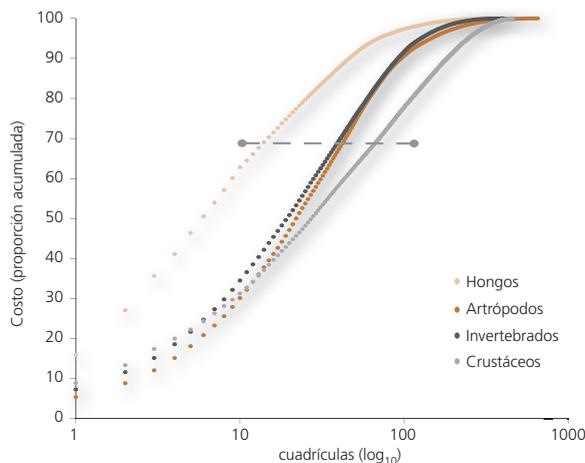
FIGURA 6. Proporción acumulada del costo por cuadrícula (0.5°) en plantas. En la tabla se muestra la cantidad de registros y localidades acumuladas una vez que el costo total por grupo taxonómico alcanzó 70% del total. (TCI)* = Total de cuadrículas con información. Como una medida de la eficiencia del inventario en el mismo intervalo de inversión se muestra la relación entre el número de registros y el número de localidades.



Vertebrados	Núm. cuadrículas que acumulan 70% de la inversión (TCI)*	% de registros acumulados	% de localidades acumuladas	registros / localidad
Aves	40 (787)	32.50	23.95	31.97
Mamíferos	47 (774)	36.82	26.01	16.30
Peces	67 (647)	56.01	33.25	4.01
Reptiles	77 (800)	52.80	36.64	7.23
Anfibios	52 (602)	52.26	38.06	9.22

FIGURA 7. Proporción acumulada del costo por cuadrícula (0.5°) en vertebrados. En la tabla se muestra la cantidad de registros y localidades acumuladas una vez que el costo total por grupo taxonómico alcanzó 70%. (TCI)* = Total de cuadrículas con información. Como una medida de la eficiencia de inventario en el mismo intervalo de inversión se muestra la relación entre el número de registros y el número de localidades.





Hongos e invertebrados	Núm. cuadrículas que acumulan 70% de la inversión (TCI)*	% de registros acumulados	% de localidades acumuladas	registros / localidad
Hongos	15 (335)	47.64	32.80	13.93
Artrópodos	44 (652)	72.61	31.14	116.40
Invertebrados*	41 (402)	63.37	34.59	26.45
Crustáceos	71 (456)	87.01	43.60	29.39

* No artrópodos

FIGURA 8. Proporción acumulada del costo por cuadrícula (0.5°) en hongos e invertebrados. En la tabla se muestra la cantidad de registros y localidades acumuladas una vez que el costo total por grupo taxonómico alcanzó 70%. (TCI)* = Total de cuadrículas con información. Como una medida de la eficiencia de inventario en el mismo intervalo de inversión se muestra la relación entre el número de registros y el número de localidades.

En el contexto del análisis espacial de la inversión, las plantas resultan un grupo interesante de revisar con cierto detalle, debido a que incluye a los grupos en los cuales las diferencias en la inversión son más acentuadas. Las angiospermas han recibido 15 veces más recursos que gimnospermas, pteridofitas y briofitas juntas, lo cual se refleja en la magnitud de la información almacenada en el SNIB (Cuadro 1; aunque también hay que considerar que es el grupo de plantas con la mayor riqueza de especies). Comparativamente, las gimnospermas es el grupo con la menor cantidad de registros (0.6% del total, Cuadro 1), pero emerge como uno de los más costosos de conocer en términos espaciales. El 18% del total de registros (17% de las localidades) se logró con 70% de inversión total destinada a ese grupo (Figura 6). Aunque en el SNIB las angiospermas representan la mitad del total de registros, no se observan diferencias sustancialmente importantes respecto al patrón de agregación espacial de la inversión (Figura 6). En este grupo, 70% del gasto se concentró en 67 de 908 cuadrículas con información, las cuales acumularon 44% de los registros y 30% de las localidades. Un patrón similar lo siguen las briofitas, con una agregación considerablemente alta de registros (63%) y localidades (48%) en muy pocas cuadrículas (26 de 285 cuadrículas con información, Figura 6). Estos resultados sugieren que en todos los casos, en menor o mayor grado e independientemente de la cantidad de recursos invertidos, la exploración florística de México ha estado restringida a ciertas áreas geográficas del país (Anexo 2a).

Los vertebrados, por su lado, nos permiten resaltar que a pesar del nivel de conocimiento taxonómico y biogeográfico del grupo, no ha habido una exploración sistemática del territorio nacional. En ese sentido aunque sin duda podría haber una

mejor planeación de la inversión, hay que tomar en cuenta las limitantes que impone la orografía (accesibilidad), relacionada al costo del registro y de la falta de especialistas para todos los grupos en todas las regiones. Un caso concreto de esto son las aves, en las cuales 40 de 757 cuadrículas con información acumulan 70% de la inversión, concentrando 32.5% de los registros y 24% de las localidades incorporadas al SNIB (Figura 7). Para el resto de los vertebrados, aunque el nivel de agregación espacial de la inversión es relativamente menor, se observa una mayor concentración de registros y localidades al compararlos con aves y mamíferos (Figura 7). El balance general para peces, reptiles y anfibios es de una escasa representación a la escala local, que se limita a entre cuatro y nueve registros por localidad (Figura 7).

Los grupos que mejor ejemplifican la notable agregación espacial de los inventarios de la biodiversidad en México son artrópodos, invertebrados (no artrópodos) y crustáceos (Figura 8). En estos grupos, muy pocas cuadrículas, que acumulan gran parte de la inversión realizada hasta el momento, contienen entre 63% y 87% del total de registros incorporados en el SNIB (y entre 31% y 44% de las localidades respectivamente, Figura 8). Para el caso de los grupos más diversos y poco conocidos en el país, el análisis nos sugiere que su inventario a escala nacional ha sido el menos eficiente en comparación con las plantas y los vertebrados, y que se caracteriza por el almacenamiento de un gran número de registros de unas pocas localidades. Aunque el tema del inventario de los grupos más diversos (ejemplo, los artrópodos) es un tema prioritario en la agenda mundial, es claro que los países conocidos como megadiversos no avanzan de forma satisfactoria (Claridge, 1995). En México, el abandono taxonómico y la carencia de fondos destinados a su estudio han retrasado su conocimiento en el país (Llorente-Bousquets y Michán *et al.*, 2008).

Análisis temporal (ruta 2)

El análisis temporal de la información muestra que todos los grupos taxonómicos, excepto los invertebrados (no artrópodos), alcanzaron su máxima representación taxonómica en el SNIB antes de 1999 (Figuras 9 a 11). Esto coincide con la tendencia de una mayor cantidad de fondos invertidos durante los primeros años. Aunque el impacto de la inversión ha sido relativamente distinto en cada grupo a lo largo del tiempo, en general se observa que, a partir del año 2000, la incorporación de registros no necesariamente se refleja en la adición de nuevas localidades (Figuras 9 a 11). Esto deriva en un conocimiento deficiente de la distribución de las especies en el territorio nacional, aspecto que ya fue ampliamente discutido en la sección anterior.

A continuación se presentan los resultados más relevantes de esta ruta de análisis, que está centrada en la comparación de los patrones de incorporación de la información de cada grupo taxonómico a través del tiempo.

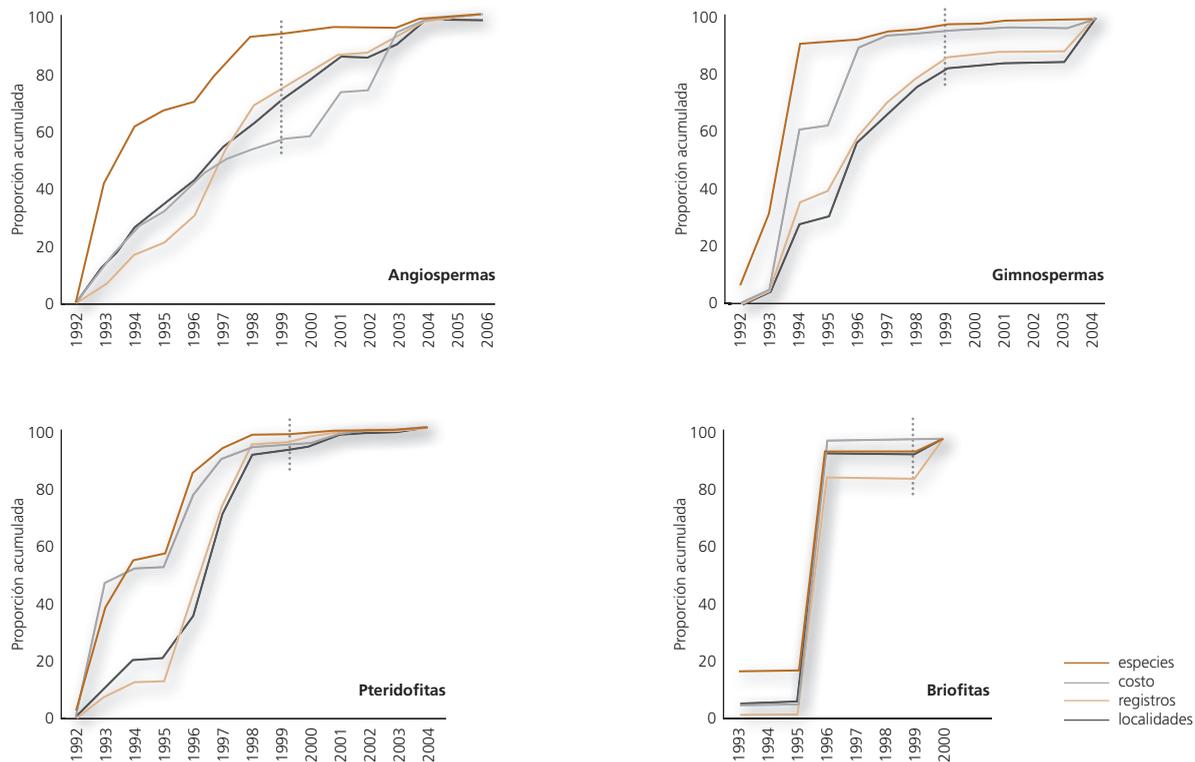
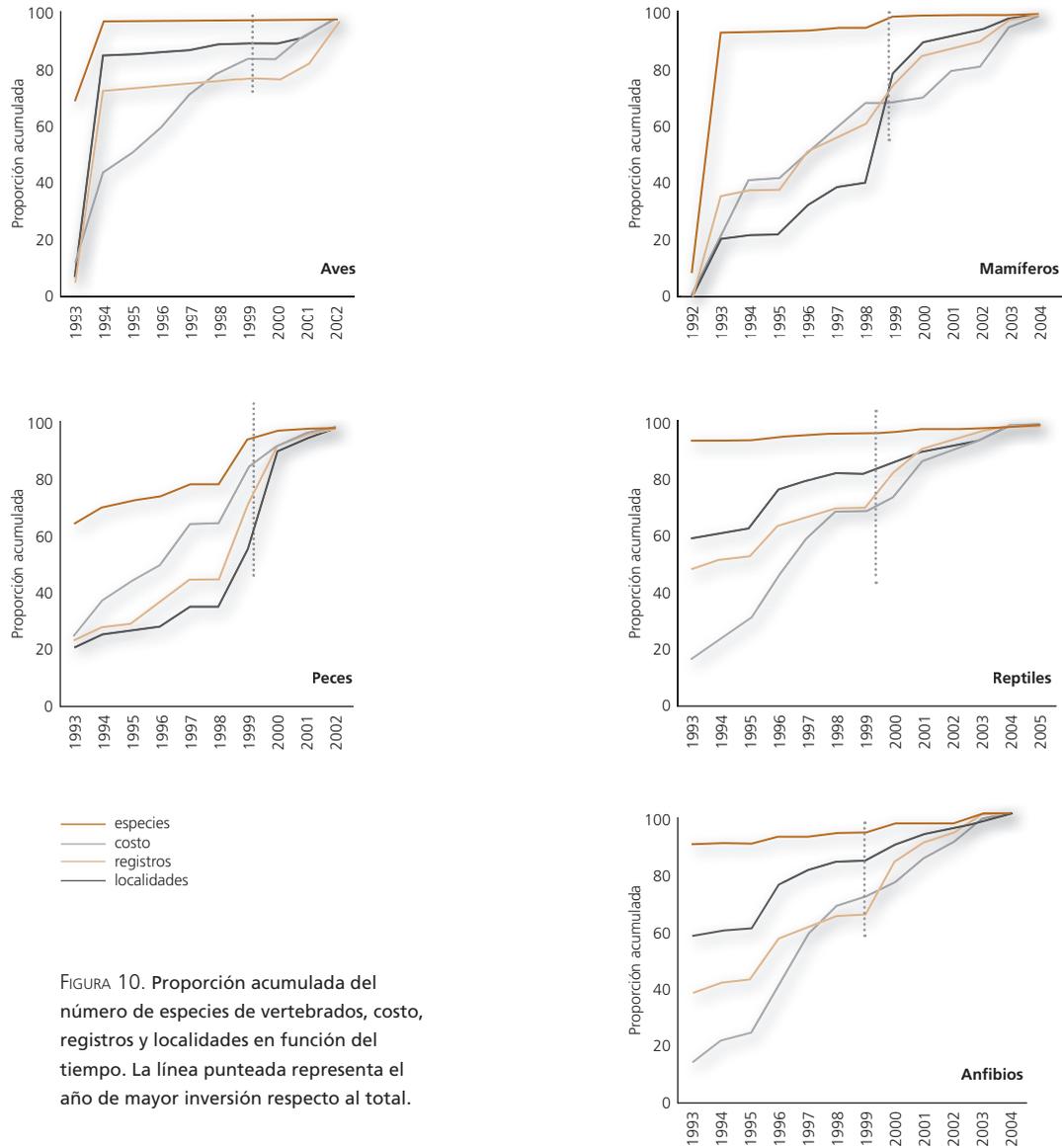


FIGURA 9. Proporción acumulada del número de especies de plantas, costo, registros y localidades en función del tiempo. La línea punteada representa el año de mayor inversión respecto al total.

Las gimnospermas, las pteridofitas y las briofitas son los grupos taxonómicos de plantas en los cuales la inversión ha sido prácticamente nula después del año 2000. De hecho, 95% del total invertido se ejerció entre 1992 y 1999. Con esta inversión se logró no solo adicionar casi todas las especies que hasta el momento contiene el SNIB para cada uno de estos tres grupos, sino también una proporción importante de las localidades (entre 80% y 94%, Figura 9). Mientras que en las angiospermas, en este mismo periodo, el registro máximo de las especies y tres cuartas partes del total de localidades, se logró con una inversión relativamente menor, cercana a 60% del total (33 millones de pesos, Cuadro 1). Sin embargo, el ingreso de registros pertenecientes a nuevas localidades ha sido menos rentable que en los otros grupos de plantas. Entre el año 2000 y el 2006, se invirtieron más de 22 millones de pesos para añadir 22% de las localidades y menos del 5% de las especies (Cuadro 1, Figura 9).

Al examinar el crecimiento del SNIB a lo largo del tiempo desde la perspectiva de



los vertebrados, observamos que 90% de las especies en cada grupo (en peces 75%), ingresaron durante el primer año, con una inversión relativamente baja, menor a 25% del total invertido (Figura 10). De igual forma, con esta inversión se incorporó al SNIB una proporción importante de las localidades, como en el caso de las aves (87%) y en menor grado en reptiles (62%) y anfibios (60%) (Figura 10). Lo anterior es resultado de la

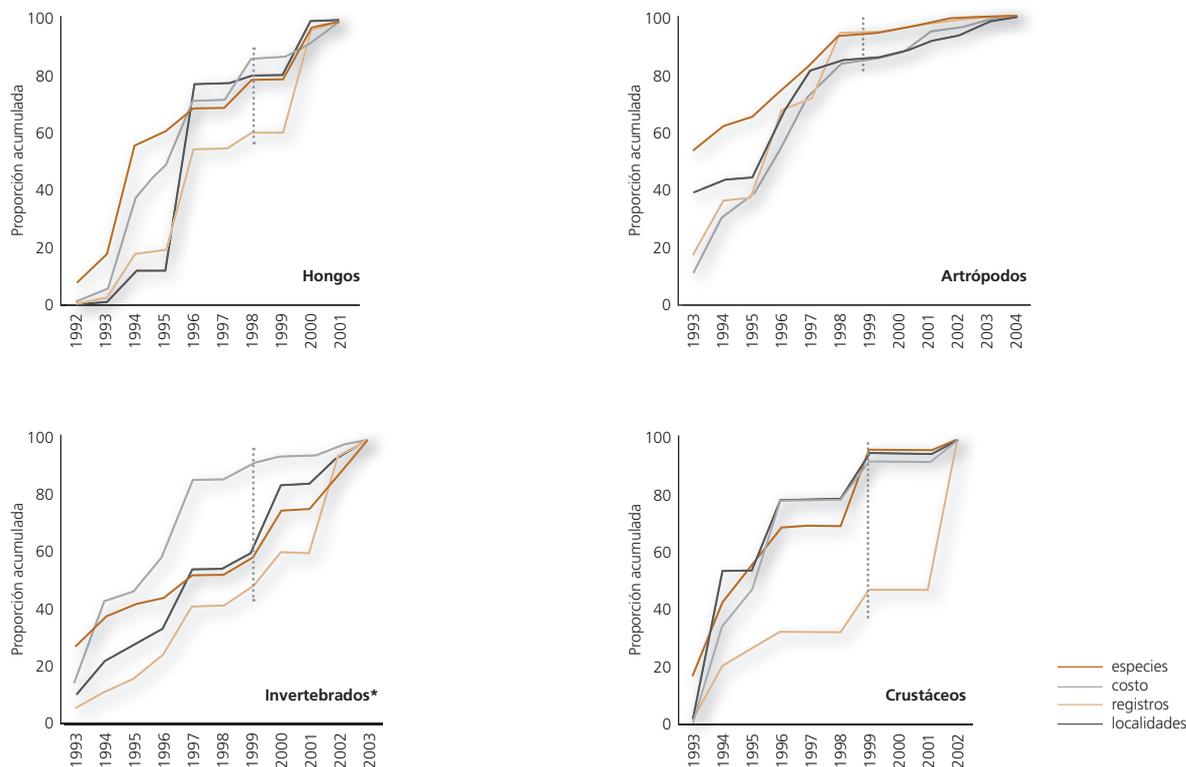


FIGURA 11. Proporción acumulada del número de especies de hongos e invertebrados, costo, registros y localidades en función del tiempo. La línea punteada representa el año de mayor inversión respecto al total.

* No artrópodos

digitalización de las principales colecciones zoológicas nacionales y de la información disponible en algunas colecciones extranjeras, principalmente de Estados Unidos. En vertebrados, aunque la inversión ha sido constante a través del tiempo (Figura 10), la adición de nuevos registros ha tenido muy poco impacto en el conocimiento geográfico de las especies, y esto es mucho más notable a partir del año 2000, periodo en el cual menos de 15% de las nuevas localidades para cada uno de los grupos de vertebrados fueron añadidas al SNIB (Figura 10).

Un vistazo a los grupos más diversos y menos conocidos revela tendencias relativamente distintas a lo observado en plantas y vertebrados. Sin embargo, al igual que en algunos grupos de plantas, la inversión después de 1999 ha sido notablemente baja (Figura 11). El ingreso de nuevas especies de invertebrados (no artrópodos) ha sido el menos eficiente a través del tiempo, con un costo comparativamente más alto que el

observado para los otros grupos taxonómicos: en este grupo, la inversión acumulada rebasó 85% del total invertido en 1997, no obstante, el número de especies y localidades apenas superó el 60% (Figura 11). El ingreso de nuevas especies y localidades para hongos, artrópodos y crustáceos al SNIB a través del tiempo siguen el mismo patrón que el observado para la inversión (Figura 11). Debido a su escasa representación en el SNIB, estos grupos emergen como un objetivo de estudio prioritario.

El juego de las estimaciones

En el contexto de los estudios de la biodiversidad las predicciones de la riqueza de especies a grandes escalas espaciales es un tema de discusión muchas veces polémico, debido a que las predicciones dependen no solo de la cantidad y calidad de la información (ej., resolución taxonómica), sino también del método y de los supuestos del análisis (Soberón y Llorente-Bousquets, 1993; Colwell y Coddington, 1994). Esta sección del estudio está enfocada a delinear un panorama general del esfuerzo, en términos de la cantidad de registros, el costo y el tiempo necesarios para alcanzar un nivel aceptable de conocimiento taxonómico de la riqueza de especies conocidas de cada grupo del SNIB. Este es un ejercicio meramente de especulación, basado en la información disponible hasta el momento, que puede ser útil como herramienta de planeación y como un punto de control para futuras evaluaciones de la inversión en el SNIB.

El SNIB alberga un total de 53 101 especies de los 13 grupos taxonómicos analizados, de las cuales 29 113 especies (55%) están incluidas en el catálogo taxonómico (ver Metodología, ruta 2 del análisis). De este total, 16 798 especies están representadas por uno o dos registros, siendo esto más notable en briofitas, hongos, artrópodos, invertebrados (no artrópodos) y crustáceos, grupos en los cuales 85% de las especies están escasamente representadas en el SNIB (1 o 2 registros). Aunque dentro de los vertebrados este problema es menor, los peces y los anfibios llaman la atención pues 57% y 54% de sus especies, respectivamente, están medianamente representadas en la base del SNIB (Cuadro 2). Esto reitera la importancia que para el estudio de la biodiversidad de México tiene la depuración de las listas de especies, la digitalización de nuevas colecciones y la exploración de las áreas sin información.

El SNIB alberga solo 17.6% de las especies (validadas a través del catálogo de nombres) estimadas por los expertos (la cual asciende a 165 mil especies, Cuadro 2), sin tener en cuenta gimnospermas y briofitas, grupos en los cuales no fue posible obtener una predicción confiable. En otros grupos taxonómicos como angiospermas, artrópodos y en particular en hongos, las estimaciones de los expertos muestran una gran variación, elevando el número de especies esperadas para México a 300 mil especies (teniendo en cuenta este valor, el SNIB contiene 9.5% de las especies registradas en el catálogo de nombres, Cuadro 2).

Por su lado, las estimaciones de la riqueza de especies calculadas mediante el método de Michaelis-Menten (MM) nos muestran un panorama mucho menos alentador, pues en casi todos los casos sobreestima la opinión de los expertos, indicándonos que la riqueza de especies de México puede alcanzar los 4.9 millones de especies, valor exagerado que está tremendamente influido por los artrópodos (Cuadro 2). Otras estimaciones señalan que en México pueden existir más de 500 mil especies de insectos y otros invertebrados (Llorente-Bousquets *et al.*, 1996-2004). En cualquiera de los casos, el trabajo que aún queda por realizar es enorme. Hay una gran diferencia entre las especies hasta ahora descritas, las cuales alcanzan 114 mil, y las estimaciones de los expertos que señalan que el número de especies por describir varía entre las 52 y las 190 mil especies, la gran mayoría concentradas entre artrópodos, invertebrados (no artrópodos) y hongos.

Bajo el supuesto de una inversión de magnitud similar a la realizada hasta el momento para la compilación de la información taxonómico-biogeográfica contenida en el SNIB, recreamos dos escenarios de predicción del número de registros, costo y tiempo necesarios para incorporar todas las especies descritas de cada grupo taxonómico (Cuadro 4: Predicción 1 y Predicción 2, detalles en la Metodología). El balance general muestra que son necesarios entre 10 y 17 millones de registros para incluir a todas las especies conocidas de los 13 grupos taxonómicos analizados, con un costo aproximado de 593 millones de pesos (cerca de cuatro veces más de lo hasta ahora invertido).

Como en toda estimación, estos valores son solo de referencia, pues la inversión puede llegar a ser menor si se piensa en: 1) que aún existe un número —cerca de 70%— de ejemplares en colecciones científicas por digitalizar (Llorente-Bousquets, Michán *et al.* 2008), lo que permite obtener información con una baja inversión, y 2) que somos capaces de desarrollar una estrategia de exploración sistemática del territorio nacional basada en la necesidad de conocimiento de cada grupo taxonómico.

De este análisis resalta, por razones obvias, que los grupos más diversos y menos conocidos requieren la mayor inversión. Los hongos, artrópodos, invertebrados (no artrópodos) y crustáceos representan, en promedio, 78% del total de registros estimados para incluir las especies ya descritas para estos grupos en el SNIB, con un costo aproximado de 407 millones de pesos (Cuadro 4). Lo anterior es el reflejo de la lánguida inversión realizada hasta el momento en estos grupos (Cuadro 1). De mantenerse esta política y un panorama de investigación similar al actual, con pocos especialistas dedicados al estudio de la sistemática y la taxonomía para estos grupos biológicos en México, se visualiza que la incorporación de las especies conocidas en el SNIB podría ser muy lenta y requeriría entre 34 y 80 años para el caso de hongos o entre 250 y 300 años para el caso de artrópodos (Cuadro 4).

En las angiospermas, como consecuencia de la gran variación en la tasa de incremento de especies utilizada en cada predicción, las estimaciones muestran valores

contrastantes (Cuadro 4). En el mejor de los escenarios, se estima que es necesario ingresar 800 mil registros para incluir las 12 a 13 mil especies descritas que aún faltan en el SNIB, lo cual tendría un costo aproximado de 51 millones de pesos (un valor similar a lo invertido hasta el momento, Cuadro 4). Opuesto a esto y en el peor de los escenarios, incorporar este mismo número de especies al SNIB requiere de alrededor de tres millones de registros con un costo total aproximado de 192 millones de pesos. En términos de tiempo, esta tarea podría requerir entre 13 y 48 años. Este lapso de tiempo puede resultar crítico para el conocimiento de las plantas, sobre todo si pensamos en la rapidez con la cual ocurren los procesos de modificación y degradación de la vegetación de los ambientes naturales en el país (Challenger y Dirzo, 2009).

Aunque los vertebrados son uno de los grupos mejor representados taxonómicamente en el SNIB, las estimaciones muestran que la magnitud del trabajo por desa-

CUADRO 4. Predicciones del número de registros, costo y tiempo necesarios para incorporar las especies descritas para México de cada grupo taxonómico en el SNIB. Predicción 1: Tiene en cuenta la tasa^a de incremento de especies durante el último año en la base de datos, Predicción 2: Tiene en cuenta la tasa^b de incremento promedio de especies a través del tiempo. Costo por registro^c: costo promedio de cada registro, registros por especie^d: número de registros para incorporar una nueva especie.

Grupo (costo por registro ^c)	Tasa ^a / Registros por especie ^d	Predicción 1			Predicción 2			
		Registros (1 x 10 ³)	Costo (1 x 10 ³)	Tiempo (años)	Tasa ^b / Registros por especie ^d	Registros (1 x 10 ³)	Costo (1 x 10 ³)	Tiempo (años)
Angiospermas (65.2)	222 / 273	2954.13	192609.47	49	828.1 / 73	792.01	51644.73	13
Gimnospermas (26)	4 / 256	?	?	?	9.5 / 256	?	?	?
Pteridofitas (58.2)	12 / 179	55.13	3208.68	25.6	46.1 / 46	14.31	832.93	6.7
Briofitas (27.5)	243 / 24	49.96	56.40	9.4	323.4 / 18	36.12	54.20	7.2
Hongos (49.8)	150 / 28	289.62	14416.21	80	206.6 / 21	210.89	10497.24	34.8
Aves (15.5)	12.6 / 2940	267.56	4156.94	7	65 / 570	51.86	805.80	1.4
Mamíferos (50.5)	1.3 / 10105	1200.44	60586.87	90	19.1 / 698	81.70	4123.71	6
Peces (165.6)	50.3 / 86	1200.07	19884.91	27.7	116.5 / 37	51.88	8590.41	12
Reptiles (48.8)	14.6 / 539	45.00	21000.00	13	40 / 196	37.57	1834.35	4.8
Anfibios (46)	7.3 / 623	54.15	2491.24	12	18.5 / 247	21.46	987.24	4.7
Artrópodos (35.8)	317 / 105	11009.20	393371.15	330	417 / 80	8369.10	299004.10	251
Invertebrados*(139)	89 / 14	313.21	43754.92	254	113 / 11	246.68	34320.07	200
Crustáceos (78.6)	79.5 / 26	136.76	10751.92	64.8	96.3 / 22	112.87	8868.38	53.5
Total		17575.23	766288.71			10026.45	421563.16	

* No artrópodos

rollar no es del todo despreciable sobre todo cuando se tienen en cuenta las tasas de incorporación de nuevas especies durante el último año. Estas tasas, en algunos casos, presentan los valores más bajos en comparación con otros grupos taxonómicos (predicción 1: Cuadro 4). En mamíferos, por ejemplo, de mantenerse esta tendencia (1.3 especies/año), se debería invertir alrededor de 60 millones de pesos para añadir los cerca de 1.2 millones de registros necesarios para incluir las 117 especies descritas que aún faltan en el SNIB (Cuadro 4). Bajo este escenario, la estimación de 90 años resulta preocupante, debido al grado de amenaza que enfrentan muchos de sus representantes en condiciones naturales (Ceballos y Oliva, 2005). Estas cifras son más alentadoras si se tiene en cuenta la tasa promedio anual (19 especies/año), con la cual la inversión se reduce a cuatro millones de pesos y a 82 mil registros, mientras que el tiempo para incorporar las especies descritas se reduce a seis años. Para el resto de los vertebrados, las estimaciones de la inversión son mucho más bajas y con un menor rango de variación entre los escenarios de predicción. Aún así, al igual que en muchos de los grupos taxonómicos, el tiempo puede convertirse un factor limitante, en particular para peces y anfibios, dos grupos restringidos a hábitats con un alto grado de vulnerabilidad como son los cuerpos de agua dulce y el bosque mesófilo de montaña (Cuadro 4).

Como ya fue señalado al inicio, los resultados de este análisis deben ser tomados con cautela, siempre de una manera crítica, pues en todos los casos es posible modificar las estimaciones dependiendo de la información disponible. El juego de cifras aquí presentados no son otra cosa que el reflejo de la manera como México ha desarrollado en los últimos 15 años la tarea de integrar un sistema nacional de información taxonómico-biogeográfica de las especies que alberga el territorio nacional, con el propósito tanto de contribuir al conocimiento de la biodiversidad como de apoyar la toma de decisiones del sector ambiental. Por esta razón, es de suma importancia crear el hábito de evaluaciones periódicas de los signos vitales de los reservorios de información como las colecciones científicas y las bases de datos.

El uso de los datos del SNIB

El recuento del historial de uso de la información muestra que hasta el momento el SNIB ha sido utilizado por 182 instituciones, principalmente de los sectores académico (85) y público (44), y en menor grado por organizaciones civiles (27) e instituciones privadas (28). Los principales usuarios han sido la UNAM en el sector académico y la SEMARNAT y la CONANP en el público.

Entre noviembre de 1996 y julio de 2008 se han atendido 7067 consultas, de las cuales una porción importante se refieren a la distribución espacial de una especie o grupo biológico, o a listados de especies para una región geográfica determinada (municipio, estado, área natural protegida). Esto significa que el uso del SNIB se ha

concentrado principalmente en las bases de datos taxonómico-biogeográficas. Como respuesta a estas consultas se han entregado un total de 22 millones de registros (38% al sector académico y 39% al sector público). Se puede asegurar, por lo tanto, que el conjunto total de registros (de los tres millones disponibles) almacenados en el SNIB y disponibles al público, ha sido utilizado en promedio siete veces.

Las consultas al SNIB por parte del sector público son un signo inequívoco de la utilidad que puede tener la información para el manejo y la conservación de los recursos naturales. Concretamente, hasta la fecha, se han atendido más de cuatro mil solicitudes realizadas por la SEMARNAT. Esto representa 60% del total de registros (de los 8.6 millones) entregados a todo el sector público. Teniendo en cuenta estas cifras, una pregunta que surge es cuál ha sido el impacto de dicha información en la toma de decisiones. Este es un tema que merece un análisis específico, que nos permitiría evaluar el beneficio de las bases de datos sobre la biodiversidad y, de esta manera, contribuir a orientar la política ambiental de México.

Considerando que existe una tendencia a hacer disponible cada vez más datos en el sitio web, a que cada vez existe un mayor número de usuarios que tienen acceso de forma directa a estos servicios por internet, y a que es prácticamente imposible rastrear el uso de cada dato derivado de las consultas al SNIB, y teniendo en cuenta que existen procesos paralelos que influyen para que se use información científica dentro del marco legal, así como que haya una sociedad más informada, para evaluar el uso del SNIB en la toma de decisiones, deberemos contar con un sistema de indicadores de impacto de la información. De esta manera, si bien es posible que no podamos evaluar dicho sistema de forma directa, el fin último sería evaluado, que es que el país reduzca la tasa de pérdida de su biodiversidad, que haya manejo sustentable de los recursos biológicos y beneficio para los dueños del capital natural, para lograr su desarrollo y bienestar social.

Otra perspectiva del uso de la información disponible en las bases de datos lo ofrece la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB: www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html), creada por la CONABIO en 1993, que tiene como objetivo ofrecer conocimiento básico al público sobre la biodiversidad, así como el promover y facilitar el intercambio de información. Actualmente, la REMIB ofrece en línea 900 mil ejemplares provenientes de 90 colecciones científicas con sede en México, cuya digitalización fue parte de los proyectos financiados por la CONABIO. Hasta julio de 2008, el número de visitas a la REMIB superó las 200 mil y el número de ejemplares consultados rebasó los 30 millones. La manera de medir el uso e impacto del uso de estos datos sería a través de la retroalimentación de los usuarios, por ejemplo, por medio de encuestas o por medio de las publicaciones (si se incluye la fuente de datos y el mecanismo que los provee).

Síntesis: las lecciones aprendidas

- El Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad es el esfuerzo más importante realizado por un país megadiverso, como es el caso de México, para articular información de distintos niveles (taxonómico, cartográfico y bibliográfico) con el propósito de documentar su diversidad biológica y de esta manera apoyar la toma de decisiones para manejo y conservación de los recursos naturales.
- Las bases de datos biogeográficos, aquellas que documentan la presencia de una especie en un lugar y tiempo determinados, son uno de los ejes de información más dinámicos del SNIB. De allí la importancia de mantener un sistema de consulta eficiente y preciso en términos taxonómicos y geográficos. En México ésta debe ser una tarea prioritaria, a corto plazo, de la comunidad de taxónomos especialistas en cada uno de los grupos biológicos. De igual forma, se requiere un mayor control de la georreferenciación de los registros que son incorporados a la base de datos. Ambas tareas, sin duda, darán una mayor certeza y confianza a los usuarios de la información.
- En el contexto del inventario nacional de la biodiversidad, la digitalización de la información disponible en las colecciones científicas debe ser una tarea prioritaria. La digitalización completa de la información depositada en las colecciones permitirá, en el mediano plazo y a un bajo costo, determinar la magnitud real de lo que falta aún por conocer.
- Las colecciones biológicas son importantes vertederos del conocimiento de la diversidad de especies, pero están sesgadas geográficamente y tienen notables vacíos de información sobre la distribución espacial. En segundo término se evidencia la carencia de una estrategia coordinada de exploración geográfica del país, basada en una evaluación periódica de la información acumulada en las colecciones científicas y en las bases de datos.
- A corto plazo, es necesario implementar proyectos de inventarios multitaxonómicos en aquellas regiones para las que no se cuenta con información. El diseño y desarrollo de estos estudios debe permitir estudios comparativos de los patrones de diversidad de distintos taxa en diferentes escenarios ecológicos y biogeográficos.
- Los resultados de los análisis espacial y temporal de la información, realizados en este estudio, son complementarios y nos permiten puntualizar que las necesidades de inversión para lograr un balance adecuado entre la representación taxonómica y la representación geográfica en el SNIB requieren de una estrategia de evaluación periódica del desempeño de las bases de datos disponibles en términos del esfuerzo de muestreo medido como registros, tiempo o costos. Una estrategia de este tipo permitiría integrar la riqueza de especies conocida para cada grupo y superar la estructura espacial agregada de la información.

- Se debe notar que, como era de esperarse, la inversión en los primeros trabajos aportará mayor número de especies, hasta un cierto punto, sin menospreciar la importancia de las diferencias de presupuesto entre grupos. No obstante, la repetición de visitas a las distintas localidades es fundamental para documentar la presencia o ausencia de las especies en un determinado hábitat, que depende de la probabilidad de detectar cada especie (la cual está influida por sus restricciones de hábitat y capacidad de dispersión). Además, es fundamental tener datos actualizados, y la redundancia de registros en una localidad no puede considerarse necesariamente, sin un análisis más profundo, como una deficiente planeación de la inversión.
- Las estimaciones del tiempo necesario para añadir las especies ya descritas (teniendo en cuenta una inversión similar a la realizada hasta el momento) en algunos de los grupos taxonómicos resultan preocupantes, si se consideran los niveles actuales de degradación y las tasas de transformación de los ecosistemas terrestres y acuáticos de México. Por lo tanto, la digitalización de las colecciones y los inventarios en campo, deben tener como eje de planeación el SNIB y ejecutarse en un plazo razonable. Los avances en este sentido permitirán una base de datos sólida para contribuir de forma más eficaz a la toma de decisiones sobre la conservación y el manejo de los recursos naturales. También servirán como línea base de información para el monitoreo a distintas escalas del espacio y del tiempo de los cambios derivados de la actividad humana (ejemplo, cambio climático).
- Un aspecto que debe tenerse en cuenta en el desarrollo de una estrategia para continuar con el inventario nacional de la biodiversidad es la necesidad de ponderar las restricciones históricas (evolutivas) y ambientales (ecológicas) propias de cada grupo taxonómico, así como la magnitud de su riqueza específica (un ejemplo concreto que ilustra esto son los reptiles y los anfibios).
- Teniendo en cuenta todo lo anterior es necesaria la concertación de las distintas instituciones (académicas y de gestión) para el desarrollo de una estrategia que permita en el mediano plazo avanzar de una manera más eficiente en el inventario nacional de la biodiversidad.
- Se requiere generar un sistema de indicadores del impacto y el beneficio del SNIB en la toma de decisiones de los diferentes sectores, pero sobre todo en lograr la sustentabilidad en la gestión del capital natural de México.

