



Hacia una cultura de
conservación de la
diversidad biológica

CAPÍTULO 7:

Los análisis de complementariedad aplicados a la selección de reservas de la biosfera: efecto de la escala

**Guillermo Gil^{1,2}
& Claudia E. Moreno²**

¹ Administración de Parques Nacionales,
Av. Tres Fronteras 183,
Iguazú, Misiones, Argentina.
gilycarbo@yahoo.com.ar

² Centro de Investigaciones Biológicas,
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo,
Apartado Postal 69 plaza Juárez,
42001 Pachuca, Hidalgo, México.
cmoreno@uaeh.edu.mx

Hacia una cultura de conservación de la diversidad biológica.

Gonzalo Halffter, Sergio Guevara
& Antonio Melic (Editores)

Patrocinadores

- SOCIEDAD ENTOMOLÓGICA ARAGONESA (SEA), ZARAGOZA, ESPAÑA.
- COMISION NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD (CONABIO) MÉXICO.
- COMISIÓN NACIONAL DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS (CONANP) MÉXICO.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT) MÉXICO.
- INSTITUTO DE ECOLOGIA, A.C., MÉXICO.
- UNESCO-PROGRAMA MAB.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. GOBIERNO DE ESPAÑA.

m3m: Monografías Tercer Milenio
vol. 6, S.E.A., Zaragoza, España
ISBN: 978-84-935872-0-8
15 diciembre 2007
pp: 63–70.

Información sobre la publicación:
www.sea-entomologia.org

Los análisis de complementariedad aplicados a la selección de reservas de la biosfera: efecto de la escala

Guillermo Gil & Claudia E. Moreno

Resumen: En este trabajo se analiza la información disponible sobre la distribución espacial de los mamíferos (115 especies) en la provincia de Misiones, Argentina, para evaluar el sistema actual de áreas protegidas y proponer alternativas en favor de la conservación. El análisis se basa en métodos de complementariedad de áreas mediante búsquedas exactas, teniendo como objetivo la eficiencia máxima. Por lo tanto, con esta aproximación se identifica el mínimo conjunto de áreas que contenían a todas las especies al menos una vez. Para evaluar el efecto que tiene la escala de análisis en las alternativas de áreas para la conservación, se utilizaron dos unidades geográficas: la primera son cuadros de $\frac{1}{4}$ de grado de latitud por $\frac{1}{4}$ de grado de longitud (62 cuadros de 715 km²) y la segunda son las divisiones político-administrativas de la provincia (17 departamentos, con un promedio de 1753 km²). Los extremos norte y sur de la provincia son los más complementarios para la conservación de los mamíferos. Los resultados muestran que el cambio de escala de análisis tiene una gran influencia en el resultado de selección de áreas para la conservación. Por lo tanto, se sugiere que este tipo de estudios se realice con unidades de superficie lo más parecidas posible a las que se puedan implementar como áreas protegidas. Las unidades de 715 km² son más parecidas a las superficies del parque provincial Urugua-í (840 km²) y el Parque Nacional Iguazú (676'20 km²). Las unidades geográficas de 1753 km² son más útiles para áreas mucho más grandes, tales como reservas de la biosfera, como por ejemplo la reserva de la biosfera Yabotí (2363'13 km²), o zonas de ordenamiento territorial, como el Corredor Verde de la provincia de Misiones. Estas propuestas pueden mejorarse disponiendo de más información sobre la distribución espacial de distintos grupos biológicos y sus necesidades de conservación.

Palabras clave: Mamíferos, conservación, áreas prioritarias, eficiencia, Argentina, Misiones.

Complementarity analyses applied to biosphere reserve selection: the effects of scale

Abstract: In this paper we analyze information about the spatial distribution of mammals in Misiones province, Argentina, in order to assess the current system of protected areas and to propose alternatives for conservation. The analysis is based on complementarity methods that select areas through exact searches, aiming at maximum efficiency. Thus, this approach identifies the minimum set of areas that includes all the species at least once. To assess the effect of scale on the alternative areas for conservation, we used two geographical units: on the one hand, squares of $\frac{1}{4}$ degree of latitude by $\frac{1}{4}$ degree of longitude (62 squares of 715 km²), and on the other the administrative divisions of the province (17 departments, with a mean of 1,753 km²). The northern and southern ends of the province are the most complementary areas for the conservation of mammals. Our results indicate that the scale of the analysis exerts a great influence on the selection of areas for conservation. Thus, we propose that this kind of analysis should be done using units as similar as possible to the areas that can be set up as protected areas. The 715 km² units are similar to the size of the Urugua-í (840 km²) provincial park and the Iguazú national park (676.20 km²). The geographical 1,753 km² units can be more useful for much larger areas such as biosphere reserves, like the Yabotí biosphere reserve (2,363.13 km²), or areas of land use planning, like the Green Corridor of Misiones province. These proposals can be improved by including more information on the spatial distribution of different biological groups and on their conservation requirements.

Key words: Mammals, conservation, priority areas, efficiency, Argentina, Misiones.

Introducción

Ante la falta de recursos adecuados para proteger todas las especies y ecosistemas, y la competencia que representan las Áreas Naturales Protegidas (ANP) hacia otros usos de la tierra no conservacionistas, resulta urgente desarrollar estrategias adecuadas para optimizar el uso de recursos limitados. En la última década se han hecho esfuerzos notables en diferentes países para desarrollar métodos que optimicen la selección de nuevas reservas naturales y que prioricen las ya establecidas, con el objeto de ampliar el número de especies y ecosistemas protegidos, o evaluar el grado de cobertura de estos, cuando se trata de sistemas existentes (Ceballos, 1999; Rodrigues *et al.*, 2000a). Al margen de los motivos de tipo político o económico, algunos

métodos para priorizar áreas para la conservación se basan, en general, en la identificación de sitios con una alta riqueza de especies, o bien con concentraciones altas de especies endémicas, restringidas o amenazadas. También se han propuesto medidas evolutivas de la diversidad para detectar áreas prioritarias (Vane-Wright *et al.*, 1991; Martín-Piera, 1997; Ceballos, 1999; Rodrigues *et al.*, 1999; Posadas *et al.*, 2001).

Por otro lado, se han planteado métodos llamados de complementariedad de áreas, basados en fórmulas matemáticas que minimizan o maximizan ciertas condiciones, como la superficie, los costos, la cantidad de especies, etc. La selección de las áreas se determina por medio de un algoritmo que las escoge iterativamente, con el objeto de lograr la representación de una o más poblaciones de todas las especies de una manera eficiente (Vane-Wright *et al.*, 1991; Ceballos, 1999; Rodrigues *et al.*, 1999, 2000a). Este método posee la característica de ser explícito y flexible y se basa en dos aproximaciones básicas: desde la eficiencia y desde la eficacia. Estas características fueron identificadas como atributos claves para un buen procedimiento de selección de reservas (Rodrigues *et al.*, 2000b).

Por medio de la eficiencia máxima se obtiene el número mínimo de sitios o la menor superficie que alberga a todas las especies al menos una vez (Rodrigues *et al.*, 1999). También se puede llegar a un conjunto de máxima representatividad, cuando se tienen áreas en una cantidad o superficie determinada y se busca que representen la máxima biodiversidad (Williams, 2001).

La aproximación desde la eficacia selecciona la mínima superficie o número de sitios que representan a todas las especies, pero a diferencia y en adición al método de la eficiencia, cumple con objetivos o condiciones específicas para cada una de ellas. Un objetivo común es asegurar la persistencia de toda la biodiversidad posible para el futuro (Rodrigues *et al.*, 1999; Rodrigues *et al.*, 2000a; Sánchez-Cordero *et al.*, 2001; Williams, 2001).

Estas dos aproximaciones priorizan dos aspectos diferentes: en la eficiencia, la mínima superficie, y en la eficacia, la máxima permanencia de las especies en los sitios. Estas dos características están negativamente relacionadas, ya que para asegurar la conservación de especies a largo plazo (eficacia) generalmente se requiere de grandes superficies, varias poblaciones, etc. Por lo que es imposible maximizar ambas características simultáneamente. La cuidadosa determinación de condiciones en el algoritmo puede producir resultados intermedios entre ambos métodos (Rodrigues *et al.*, 2000a).

Los algoritmos heurísticos usan un conjunto relativamente simple de reglas que van adoptando de búsquedas anteriores. Algunos algoritmos dan un resultado pobre, pero otros dan un resultado muy cercano al óptimo. Lo subóptimo puede ser trivial comparado con la calidad de los datos y la implementación práctica para la conservación. Este tipo de búsqueda es la técnica más rápida disponible basada en complementariedad. Los algoritmos pueden ser suplementados con procedimientos adicionales diseñados para mejorar su eficiencia (Williams, 2001). La complementariedad puede maxi-

mizar el valor representado en una selección de áreas, sin embargo, estas no necesariamente son las prioritarias. Prioridad es la urgencia relativa de acciones de conservación entre diferentes áreas, y esta es determinada por las amenazas conocidas (Williams, 2001).

En este trabajo se utilizan los análisis de complementariedad para analizar y proponer mejoras a las políticas de conservación basadas en áreas protegidas, en la provincia de Misiones, Argentina. Para ello, se aprovecha la amplia información disponible sobre la distribución espacial de mamíferos. Los objetivos del presente trabajo son: 1) identificar el grupo de áreas más eficiente que representen la totalidad de los mamíferos de Misiones; y 2) considerar el efecto de la escala espacial en los análisis y su aplicación a la conservación basada en áreas protegidas. Este estudio forma parte de un proyecto de evaluación de las áreas protegidas de la provincia de Misiones, Argentina, y su papel en la conservación de la biodiversidad (Gil, 2004).

La provincia de Misiones, Argentina

Misiones ocupa el extremo noreste de la República Argentina, limitando con Paraguay, Brasil y la provincia de Corrientes. Está ubicada entre los 25° 30' y 28° 10' L. S. y los 53° 38' y 56° 05' L. O. (fig. 1). La superficie de Misiones es de 29.801 km² y representa el 1,1 % del total nacional (Dirección General de Estadísticas y Censos, 1978). La provincia posee un relieve muy complicado. Está conformado por un sistema serrano dorsal, muy erosionado por los innumerables cursos de agua, que a lo largo del tiempo han ido trabajando la corteza terrestre, formando profundos valles. La altitud va descendiendo desde el borde oriental hacia el sudoeste, desde 800 m en Bernardo de Irigoyen hasta menos de 100 m en Apóstoles, con pendientes más abruptas hacia el sudeste (hacia el río Uruguay) que hacia el noroeste (hacia el río Paraná).

Esta provincia posee un clima subtropical sin estación seca, habitualmente sin variaciones notables dentro del territorio, salvo un descenso de la temperatura de sudoeste a noreste y un aumento en las precipitaciones de oeste a este. Las heladas son regulares y no parece haber área a salvo de estas. Por su parte las nevadas pueden ocurrir en las zonas más elevadas. Como consecuencia directa de los tipos de clima y del relieve, esta provincia presenta un sistema hidrográfico de extrema densidad. En la periferia fluvial de Misiones desembocan no menos de 800 cursos permanentes de agua, de muy diversa categoría. La provincia se ha subdividido en 9 grupos de suelos: los seis primeros son derivados del basalto, el séptimo de areniscas y los dos últimos de terrazas fluviales (Dirección General de Estadísticas y Censos, 1978).

El territorio de Misiones contiene dos eco-regiones: la selva paranaense, que originalmente cubría el 86% del área y es exclusiva de esta provincia en Argentina y, los campos y malezales, en el resto. Dentro de la selva se distinguen dos comunidades vegetales principales, las selvas mixtas y las selvas con araucarias. Estas formaciones boscosas están formadas por dos o tres

Fig. 1. División política-administrativa de la provincia de Misiones, Argentina, mostrando los 17 departamentos que la integran y que se utilizaron en este trabajo como unidades de análisis



estratos arbóreos, un estrato de bambúseas y arbustos, uno herbáceo y finalmente el muscinal. Completando la complejidad se encuentran varios estratos de epífitas y lianas. Por otra parte, los campos y malezales se distinguen por su gran diversidad de especies herbáceas (Cabrera, 1976; Laclau, 1994; Burkart *et al.*, 1999).

El territorio de la provincia de Misiones, en la actualidad posee un uso del suelo que puede resumirse en los siguientes porcentajes aproximados. El 34 % de bosques originales remanentes (incluye el 20 % bajo extracción selectiva), un 27 % de bosques secundarios, el 14 % de la superficie dedicado a la ganadería, el 4 % a cultivos anuales, el 8 % a cultivos perennes, y otro 8 % a plantaciones forestales principalmente de especies no nativas. Incluyendo algunas de las categorías anteriores, el 15 % son ANP. Entre 1997 y 2002 la provincia sufrió una tasa de deforestación de 150 a 200 km² por año y tuvo una tasa anual de crecimiento de ANP de 191 km². A esto se suma la creación del Área Integral de Conservación y Desarrollo Sustentable Corredor Verde, que si bien no es un ANP, incluye a varias de estas y tiene por objetivo priorizar la conservación en 11.080 km² (Chebez & Hilgert, 2003). Misiones posee un porcentaje aceptable de su superficie protegida, bajo un sistema organizado manejado por un Ministerio de Ecología, Recursos Naturales Renovables y Turismo, con un desarrollado marco legal y un cuerpo de guardaparques propio. A pesar de ello, todavía existen carencias en la implementación de las ANP. El 59 % se encuentran plasmadas sólo en el "papel", el 30 % son muy vulnerables, el presupuesto provincial para esta finalidad ha disminuido desde 1995 al 2001 a menos de la mitad (Cinto & Bertolini, 2003; Giraudo *et al.*, 2003b). La

deforestación ha creado un proceso de fragmentación y actualmente subsisten manchones de 0,09 a 1.321 km² de selva conservada y de 0,09 a 513,61 km² de selva secundaria (Giraudo *et al.*, 2003a). La pérdida de ambientes naturales además está causada por grandes obras de infraestructura, principalmente por represas. Yacretá y Urugua-í son dos represas hidroeléctricas que han causado un gran impacto negativo sobre la biodiversidad de Misiones. Sin embargo, existen otros cuatro proyectos importantes de construcciones similares muy cuestionados por la sociedad civil y las organizaciones conservacionistas. Las rutas construidas sin medidas de mitigación de impactos negativos, también están causando serios daños, incluso dentro de ANP (Chebez & Hilgert, 2003).

La selva paranaense (englobada en la selva atlántica de Brasil) se encuentra clasificada como crítica o en peligro dentro de las 200 eco-regiones más amenazadas del planeta (World Wide Fund For Nature, 2002); como amenazada y con alta prioridad de conservación a escala continental (América del Sur y Central; Dinerstein *et al.*, 1995). En un diagnóstico de las eco-regiones argentinas, la selva paranaense es considerada con una alta biodiversidad por sus altos valores de endemismos (0,75), alto nivel de degradación (0,77), una singularidad media (0,38, por compartir el ecosistema con otros dos países), y con la necesidad de un alto esfuerzo de protección (0,56; los estimadores utilizados tienen valores de 0 a 1). Estos índices la ubican en segundo lugar en la lista de las unidades argentinas que deben conservarse, después de la eco-región pampeana (Bertonatti & Corcuera, 2000). La detección de zonas de biodiversidad inadecuadamente protegidas y la aplicación de criterios

científicos para la selección de reservas naturales, han sido señalados como necesidades para la conservación en Misiones (Giraud *et al.*, 2003a; b).

Grupo de estudio

Dadas las dificultades de utilizar a todas las especies de una región o ambiente en particular, el foco de la biología de la conservación está fuertemente centrado en los vertebrados. Estos tienen un efecto paraguas, pues poseen requerimientos de área mayores a los invertebrados. Dentro de los vertebrados, los homeotermos son los que demandan mayores espacios, aunque las aves, por su capacidad de volar, pueden trasladarse de un lugar a otro cuando la calidad del hábitat disminuye. Los mamíferos tienen áreas de acción mayores a otros vertebrados, eso los convierte en herramientas ideales para priorizar las necesidades de conservación, ya que podría asumirse que las áreas capaces de conservar mamíferos también son capaces de albergar especies de menores requerimientos de área (Monjeau, 1999). Por otra parte, los mamíferos son uno de los grupos mejor conocidos en cuanto a taxonomía y distribución de la biota terrestre. Estas características, conjuntamente con la existencia de un amplio grupo de mastozoólogos, métodos perfeccionados de captura o detección, numerosa bibliografía específica y su presencia en casi todos los ecosistemas del mundo, entre otras, hacen que los mamíferos sean muy atractivos para ser evaluados como grupo indicador de diversidad (Wilson *et al.*, 1996). Más aún, dentro de los vertebrados de Misiones, los mamíferos son uno de los dos grupos con más especies amenazadas con 21 especies, considerando conjuntamente los niveles global y nacional, (Chebez, 1994; IUCN, 2003).

Obtención y manejo de la información

Para este análisis se tuvieron en cuenta los datos de presencia y ausencia de 115 especies de mamíferos citadas por Chebez *et al.* (en prensa). En dicha obra se utiliza mayormente la nomenclatura propuesta por Galliari *et al.* (1996), aunque modificada por Elio Massoia, coautor de dicha obra.

Todos estos datos se colectaron entre 1878 y 2002, por lo tanto existe la posibilidad de que los datos de presencia de las especies se refieran a citas históricas y que en la actualidad se encuentren localmente extintas. Por ello, se tuvieron en cuenta las observaciones realizadas por Chebez *et al.* (en prensa) que han tratado el estatus de conservación de los mamíferos, o bien, de no existir datos específicos, se tomó el criterio de considerar extinta en un cuadro a una especie amenazada o de distribución restringida (rareza $\geq 0,88$ según Gil, 2004) cuyo último registro tuviera más de 50 años (anterior a 1952). Aunque sí se incluyeron aquellas especies totalmente extintas de la provincia, como presentes en todos los puntos donde históricamente se distribuyeron, con la finalidad de incluir áreas donde potencialmente puedan reintroducirse.

Se excluyeron aquellas localidades que, aunque limítrofes, no estaban en territorio misionero. Esta pre-

misión se estableció sobre la base de que no se conocen a ciencia cierta los factores que representan barreras de dispersión y movilidad para cada una de las especies, por lo que se unificó un criterio para todos los mamíferos. Cabe recordar que casi todos los límites políticos de la provincia están constituidos por importantes cursos de agua. Otros datos que no se tuvieron en cuenta son los pertenecientes a presencias explícitamente dudosas debido a su grado de incertidumbre, y a especies exóticas, dado que el objetivo del trabajo no incluye a los organismos introducidos. A pesar del gran período que abarca esta recopilación de datos y de lo exhaustiva de la misma, la realidad es que existen muchas regiones y lugares en la provincia que no han sido estudiados o están submuestreados (Chebez & Casañas, 2000; Gil, 2004). Sin embargo, la complementariedad de áreas basada en presencia/ausencia de especies, incluso con bajos esfuerzos de muestreo, resulta ser un método con resultados satisfactorios en cuanto a efectividad. Esto se debe a que las especies que poseen picos de abundancia en determinadas localidades tienen mayor probabilidad de ser detectadas en las primeras prospecciones de ese sitio, el cual resulta como el más adecuado para su preservación a largo plazo (Gaston & Rodrigues, 2003).

Con la intención de obtener una unidad de análisis homogénea para toda la provincia y en parte emular el área conocida de distribución de las especies a partir de las citas puntuales, se dividió la provincia en unidades de $\frac{1}{4}$ de grado de latitud por $\frac{1}{4}$ de grado de longitud (Contreras & Contreras, 1990; Freitag *et al.*, 1998; Escalante-Espinosa *et al.*, 2003), obteniéndose 62 cuadros se utilizaron los cuadros de 715 km² cada uno (fig. 2). Por medio de la superposición manual de los mapas de registros puntuales de cada especie con estos cuadros, se observó la presencia o ausencia para cada una de ellas, y se consideró a la existencia de al menos un registro como equivalente a la ocupación de todo el cuadro. Con estos datos se construyó un cuadro o matriz básica de datos, donde cada columna representa un cuadro (62) y cada fila una especie (115); en su intersección se señala la presencia con un uno (1) o su ausencia con un cero (0) (disponible en Gil, 2004).

Para otra escala de aproximación y considerando que muchas veces la información de presencia/ausencia de especies sólo está disponible para divisiones político-administrativas, se utilizaron los 17 departamentos de la provincia como unidades de análisis (fig. 1). El intervalo de superficies de los departamentos es de 2.871 km², entre 526 y 3.407 km², con un promedio de 1.753 km². Un intervalo de casi 1.000 km² (726 – 1.723) contiene el 65% de los departamentos. La relación positiva especies-área (Connors & McCoy, 2001) no fue observada en este caso en una regresión lineal simple entre el logaritmo de la riqueza de mamíferos y el logaritmo de la superficie de cada departamento. Considerando esto último, la similitud de superficies, la forma relativamente compacta, y distribución homogénea en la provincia de los departamentos (fig. 1), esta exploración podría aproximarse a una escala de análisis con unidades de 1.753 km². Esta superficie es equivalente a cuadros de 24 minutos geográficos de lado, aproximadamente. Para

Fig. 2. Solución de eficiencia máxima que posee el mayor porcentaje de superficie protegida. Los 11 cuadros sombreados son los seleccionados por complementariedad.



confeccionar la matriz básica de datos de especies por departamentos, se procedió a la superposición de mapas de igual manera que para los cuadros (disponible en Gil, 2004).

Análisis de datos

Para hallar las soluciones por complementariedad se realizó una búsqueda exacta utilizando como objetivo la eficiencia máxima, o sea, que se halló el mínimo conjunto de áreas que contenían a todas las especies al menos una vez. Las soluciones para los cuadros se hallaron usando programaciones enteras lineales con el programa de computación CPLEX Linear Optimizer 6.5.2 (ILOG, 1997-1999); y para los departamentos se recurrió a una hoja de cálculo en el programa Microsoft Excel 2002 (Microsoft Corp., 1985-2001), utilizando un macro en Visual Basic realizado *ex profeso* por el Dr. Héctor Arita (Instituto de Ecología, UNAM, México, julio 1999). Estas soluciones fueron ordenadas para su selección, maximizando la riqueza acumulada y minimizando la superficie acumulada. Este procedimiento se realizó seleccionando inicialmente la unidad más rica y luego se eliminaron de la matriz todas las especies presentes en la misma. Posteriormente, con estos datos reducidos, se volvió a elegir la unidad más rica, y se repitió el procedimiento de eliminar las especies ya representadas y eligiendo la nueva unidad más rica, hasta llegar a representar a todas las especies. Cuando para los departamentos se presentaba más de una opción que aportaba un valor de riqueza igual, se seleccionaba la de menor superficie.

Resultados

Del total de 62 cuadros en que se dividió la provincia de Misiones, la cantidad necesaria para lograr la eficiencia máxima con una búsqueda exacta, fue de once cuadros, con varias opciones de conjuntos. Utilizando el criterio de riqueza acumulada, el ordenamiento de cuadros resultante arrojó varias alternativas en las que sólo cambia el orden de los últimos cuadros que aportan sólo una nueva especie cada uno (Tabla I). Si bien los cuadros 2 y 43 presentaban la misma riqueza de especies actuales (70), el último además albergó históricamente a las dos especies extintas de la provincia, el venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus* Linnaeus, 1758) y el ciervo de los pantanos (*Blastocerus dichotomus* Illiger, 1815), por lo que lo convierte en una posible área para su reintroducción, elevando de esta manera las especies que potencialmente puede albergar.

Tabla I. Selección de cuadros (715 km²) por complementariedad con base en la riqueza máxima acumulada de mamíferos de Misiones, Argentina.

Número de orden	Número de cuadro	Especies agregadas	Riqueza acumulada
1	43	72	72
2	2	20	92
3	14	8	100
4	42	5	105
5	29	3	108
6	19	2	110
7	45*	1	111
8	37*	1	112
9	40*	1	113
10	54*	1	114
11	3*	1	115

*: El orden entre estos cuadros es indistinto

Para la selección y ordenamiento de departamentos se halló un solo conjunto de eficiencia máxima con 8 unidades (Tabla II). Los primeros dos departamentos fueron Iguazú y Capital, en este orden.

Se hallaron conjuntos de áreas complementarias en las dos escalas de análisis, con cuadros de 15' geográficos de lado (715 km²) y con departamentos que son unidades equivalentes a cuadros de 24' geográficos de lado (1.753 km²). Si se considera el departamento que posee la mayor proporción dentro de los cuadros del primer análisis y se comparan los resultados obtenidos, se observa que los órdenes de los departamentos son muy disímiles (Tabla III).

Discusión y conclusiones

Los 11 cuadros de la solución de eficiencia máxima suman una superficie de 7.865 km², mientras que el área actualmente protegida en toda la provincia es de 4.598,99 km² (Fundación Vida Silvestre Argentina, 2003; Giraud *et al.*, 2003a), o sea, el 58,47 % de nuestro resultado.

Los primeros dos cuadros (43 y 2) y departamentos (Iguazú y Capital) seleccionados, se encuentran en los extremos norte y sur de la provincia (fig. 1 y 2). Esto es entendible ya que existe un gradiente latitudinal y longitudinal, además de una diferencia importante en eco-regiones (Burkart *et al.*, 1999), vegetación (Cabrera, 1976), fauna (Ringuelet, 1961) y en los ensamblajes de mamíferos (Gil, 2004), por lo tanto, se espera que las faunas sean complementarias. Pero también se considera que existe un sesgo dirigido por el grado de conocimiento (o esfuerzo de muestreo) que resulta mayor en estos dos cuadros y departamentos que en el resto. Iguazú fue motivo de atención gracias al Parque Nacional homónimo establecido desde 1934, y de programas de investigación específicos para la cuenca del arroyo Uruguay, primero por parte del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" en la década del '60 y luego en 1986, para conocer el impacto de la construcción de una presa hidroeléctrica y determinar una reserva compensatoria (Chebez, 1996). Por su parte, Capital contiene a la ciudad cabecera de la provincia (Posadas) que es la de mayor población y antigüedad, esto le otorgó históricamente una mayor accesibilidad, y especialmente en los últimos años, de los investigadores de la Universidad Nacional de Misiones, ubicada en Posadas. En el cuadro 43 hay dos localidades muy bien prospectadas, Campo San Juan y San Ignacio, pero también, por este cuadro pasa el límite o ecotono entre dos grandes fisonomías y tipos de vegetación que conforman Distritos fitogeográficos, y también de dos Distritos zoogeográficos (Ringuelet, 1961), lo que podría explicar una alta riqueza real.

Los primeros cuadros y departamentos seleccionados en las soluciones encontradas son los más importantes para la implementación de áreas complementarias para la conservación de los mamíferos. Todas las ANP existentes en ellos cobran especial importancia, en particular las de gran superficie. Por esto, debe consolidarse la implementación de la Reserva de Biósfera Yabotí

(2.363,13 km² en los departamentos de San Pedro y Guaraní) y reforzarse fuertemente la superficie protegida por ANP en los departamentos Capital y Candelaria. Para este último, se considera prioritaria la concreción del proyecto de ANP Campo San Juan de 50 km² (Rolón & Chebez, 1998).

Para lograr la representación en ANP de todas las especies de mamíferos de Misiones, incluyendo las dos extintas, se necesitan unidades de conservación en los 11 cuadros seleccionados. Para ello debe corroborarse que las especies citadas para cada uno de estos cuadros estén presentes en las ANP ya creadas allí, y en consecuencia diseñar nuevas que contengan las faltantes, tanto en dichos cuadros como en aquellos que no cuentan con ningún ANP.

Nuestros resultados muestran que, al menos para los mamíferos, el cambio de escala de análisis posee una gran influencia en el resultado de selección de áreas para la conservación. Por lo tanto, se sugiere que este tipo de estudios se realice con unidades de superficie lo más parecidas posibles a las que se van a implementar como áreas protegidas. Las unidades de 715 km² son más parecidas a las superficies del Parque Provincial Uruguay (840 km²) y el Parque Nacional Iguazú (676,20 km²), ambos de Misiones, por ello estas unidades geográficas pueden ser más útiles para la selección de ANP en este orden de dimensiones. Las unidades geográficas de 1.753 km² podrían servir para ANP mucho más grandes, para Reservas de Biósfera, como por ejemplo la RB Yabotí (2.363,13 km²) o para zonas de un ordenamiento territorial, como el Área Integral de Conservación y Desarrollo Sustentable (AICDS) Corredor Verde de la Provincia de Misiones, con su enorme superficie (11.080 km²).

Por ahora, este Corredor Verde ha quedado en el ámbito de los papeles, pero de implementarse se estaría mucho más cerca de cubrir las áreas de importancia para la conservación de los mamíferos y de todos los vertebrados de Misiones, aunque la zona sur de la provincia, como no se encuentra incluida en esta iniciativa, necesitaría otra estrategia (Gil, 2004). Tal vez, su declaración como Reserva de Biosfera ayude a hacer efectiva su conservación.

En cuanto a los métodos usados, en nuestro caso las búsquedas heurísticas de eficiencia igualaron en optimización a las búsquedas exactas, con la ventaja que además ofrecen un orden de prioridad de selección. No hay que olvidar que, el criterio de simple presencia, no asegura la conservación de las especies, por eso existen aproximaciones desde la eficacia que no se abordaron en este trabajo (ver Gil, 2004). Es por esto que no debe subestimarse el valor de una gran superficie protegida con relativamente pocas especies o la repetición de especies representadas en áreas que no agregan ninguna nueva. Y obviamente hay que recordar que sólo se analizaron los mamíferos, sin tener en cuenta el resto de los grupos de vertebrados (ver Gil, 2004) ni las plantas vasculares, que normalmente poseen una importancia clave en la selección de ANP.

Cuando se cuente con información más detallada de la distribución de todos los vertebrados o de otros

Tabla II. Selección de los departamentos (1.753 km² de promedio) complementarios con base en la riqueza máxima de mamíferos y en la superficie mínima acumuladas, para Misiones, Argentina.

Orden	Departamentos	Especies agregadas	Riqueza acumulada	Porcentaje de la riqueza
1°	Iguazú	83	83	72,17
2°	Capital	19	102	88,70
3°	Oberá	5	107	93,04
4°	San Pedro	3	110	95,65
5°	Montecarlo	2	112	97,39
6°	San Ignacio	1	113	98,26
7°	Gral. M. Belgrano	1	114	99,13
8°	Guaraní	1	115	100,00

Tabla III. Comparación de los resultados de selección de áreas prioritarias mediante eficiencia máxima en dos escalas de análisis en la provincia de Misiones, Argentina. Con departamentos que son unidades equivalentes a cuadros de 24' geográficos de lado (1.753 km²), y con cuadros de 15' geográficos de lado (715 km²). El número de orden de selección se indica entre paréntesis.

Departamentos	Orden de selección por riqueza acumulada (N°)	
	Cuadros de 24' de lado	Cuadros de 15' de lado
Iguazú	83 (1°)	20 (2°)
Capital	19 (2°)	5 (4°)
Oberá	5 (3°)	1 (7°-11°*)
San Pedro	3 (4°)	1 (7°-11°*)
Montecarlo	2 (5°)	0
San Ignacio	1 (6°)	0
Gral. M. Belgrano	1 (7°)	1 (7°-11°*)
Guaraní	1 (8°)	3 (5°)
Candelaria	0	72 (1°)
Eldorado	0	8 (3°)
Lib. Gral. San Martín	0	2 (6°)
Cainguás	0	1 (7°-11°*)
Oberá, San Javier, L. N. Alem	0	1 (7°-11°*)

*: El orden de estos cuadros es indistinto, entre el 7° y el 11°.

grupos bióticos, deberían combinarse a este tipo de análisis, para acercarse a la integración de la mayor cantidad de taxa existentes. Además para una planificación más eficiente, resulta fundamental, contar con la información de los inventarios de los mamíferos y otros vertebrados de todas las ANP, y de esta manera saber que especies ya se encuentran representadas en ellas y cuales todavía necesitan protección.

Por otra parte, más allá de los aspectos analizados en este trabajo y los de eficiencia, no se descarta la conservación de otros elementos de la biodiversidad, como corredores bióticos, sitios de cría, poblaciones o interacciones singulares, paradas migratorias, etc., los que

deberían añadirse a los resultados obtenidos por los métodos de complementariedad.

Agradecimiento

A Juan Carlos Chebez y Andrés Bosso por poner a disposición el manuscrito de su libro en prensa. A Luis Bernardo Vázquez Hernández por la ayuda en el uso del programa CPLEX. A Irene Goyenechea, Víctor Sánchez-Cordero, Iriana Zuria Jordán, Alberto Rojas, Norma I. Hilgert y Gerardo Sánchez Rojas por sus contribuciones en las revisiones del manuscrito. Este trabajo fue financiado parcialmente por el proyecto SEP-CONACYT 2003-C02-44312.

Bibliografía

- Bertonatti, C. & J. Corcuera. 2000. *Situación Ambiental Argentina 2000*. Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires. 440 pp.
- Burkart, R., N. O. Bárbaro, R. O. Sánchez & D. A. Gómez. 1999. *Eco-regiones de la Argentina*. Administración de Parques Nacionales. PRODIA. Buenos Aires. 42 pp.
- Cabrera, A. L. 1976. Regiones fitogeográficas argentinas. *Enciclopedia Agricultura y Jardinería*. Ed. ACME. Buenos Aires. Vol. 2: 1-85.
- Ceballos, G. 1999. Áreas prioritarias para la conservación de los mamíferos de México. *Biodiversitas*, 27: 1-8.
- Chebez, J. C. 1994. *Los que se van. Especies argentinas en peligro*. Ed. Albatros. Buenos Aires. 604 pp.
- Chebez, J. C. 1996. *Fauna Misionera*. Misiones Fauna. Monografía 5. Ed. L.O.L.A. Buenos Aires. 318 pp.
- Chebez, J. C. & H. Casañas. 2000. Áreas claves para la conservación de la biodiversidad de la provincia de Misiones, Argentina. (Fauna Vertebrada). En: Fundación Vida Silvestre Argentina y World Wide Fund For Nature (Coord.). *Memorias del Taller "Visión Biológica de la Selva Atlántica"*. FVSA – WWF. Foz do Iguazú. Disponible on line en: http://www.vidasilvestre.org.ar/pdfs/Argentina_Fauna_de_Misiones_by_Chebez_and_Casa_as.doc [Consultada el 21-06-2007].
- Chebez, J. C. & N. Hilgert. 2003. Brief history of conservation in the Paraná forest. En: Galindo-Leal, C. & I. de

- G. Câmara (eds.). *The Atlantic forest of South America. Biodiversity status, threats, and outlook*. The Center for Applied Biodiversity Science at Conservation International. Island Press. Washington – Covelo – London. Chapter **14**: 141-159.
- Cinto, J. P. & M. P. Bertolini. 2003. Conservation capacity in the Paraná forest. En: Galindo-Leal, C. & I. de G. Câmara (eds.). *The Atlantic forest of South America. Biodiversity status, threats, and outlook*. The Center for Applied Biodiversity Science at Conservation International. Island Press. Washington – Covelo – London. Chapter **20**: 227-244.
- Chebez, J. C., A. Bosso & E. Massoia. En prensa. *Los mamíferos de la provincia de Misiones*. Ed. L.O.L.A. Buenos Aires.
- Connors, E. F. & E. D. McCoy. 2001. Species-area relationships. En: Levin, S. A. (ed.). *Encyclopedia of biodiversity*. Academic Press. San Diego. Vol. **5**: 397-411.
- Contreras, J. R. & A. O. Contreras. 1990. Atlas mastozoológico del noreste argentino y del Paraguay. *Libro de Resúmenes, Reunión conjunta SAREM-ASM*. Buenos Aires.
- Dinerstein, E., D. Olson, D. Graham, A. Webster, S. Primm, M. Bookbinder & G. Ledec. 1995. *A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean*. The World Bank, Washington, D.C. 129 pp.
- Dirección General de Estadísticas y Censos. 1978. *Atlas general de la provincia de Misiones*. Provincia de Misiones, Secretaría de Planificación y Control, DGEyC. Posadas. 152 pp.
- Escalante-Espinosa, T., D. Espinosa-Organista, J. J. Morrone & J. Llorente. 2003. De las bases de datos a los atlas biogeográficos. *UNAM. Ciencia*: 71-76.
- Freitag, S., A. O. Nicholls & A. S. van Jaarsveld. 1998. Dealing with established reserve networks and incomplete distribution data sets in conservation planning. *S. Afr. J. Sci.*, **94**: 79-86.
- Fundación Vida Silvestre Argentina. 2003. *Reservas Privadas*. Disponible on line en: <http://www.vidasilvestre.org>. [Consultada el 17-11-2003].
- Galliari, C. A., U. F. J. Pardiñas & F. J. Goin. 1996. Lista comentada de los mamíferos de Argentina. *Mastozoología Neotropical*, **3**: 39-62.
- Gaston, K. J. & A. S. L. Rodrigues. 2003. Reserve selection in regions with poor biological data. *Cons. Biol.*, **17**: 188-195.
- Gil, G. 2004. *La complementariedad de áreas protegidas con base en la diversidad de mamíferos*. Tesis Maestría en Recursos Bióticos, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, 170 pp. Inédita. Disponible on line en: http://www.redmeso.net/bdred/doctos_alu/Alum008.pdf. [Consultada el 13-08-2003].
- Giraudó, A. R., E. Krauczuk, V. Arzamendia & H. Povedano. 2003a. Critical analysis of protected areas in the Atlantic forest of Argentina. Biodiversity status of the interior Atlantic forest of Argentina. En: Galindo-Leal, C. & I. de G. Câmara (eds.). *The Atlantic forest of South America. Biodiversity status, threats, and outlook*. The Center for Applied Biodiversity Science at Conservation International. Island Press. Washington – Covelo – London. Chapter **21**: 245-261.
- Giraudó, A. R., H. Povedano, M. J. Belgrano, E. Krauczuk, U. Pardiñas, A. Miquelarena, D. Ligier, D. Baldo & M. Castelino. 2003b. Biodiversity status of the interior Atlantic forest of Argentina. En: Galindo-Leal, C. y I. de G. Câmara (Ed.). *The Atlantic forest of South America. Biodiversity status, threats, and outlook*. The Center for Applied Biodiversity Science at Conservation International. Island Press. Washington – Covelo – London. Chapter **15**: 160-180.
- ILOG. 1997-1999. *CPLEX Linear Optimizer 6.5.2 with Mixed Integer & Barrier Solvers*. Gentilly, France.
- IUCN. 2003. *2003 IUCN Red List of Threatened Species*. Disponible on line en: <http://www.redlist.org>. [Consultada el 16-03-2004].
- Laclau, P. 1994. *La conservación de los recursos naturales renovables y el hombre en la selva Paranaense*. Boletín Técnico Fundación Vida Silvestre Argentina. Buenos Aires. N° **20**: 1-139.
- Martin-Piera, F. 1997. Apuntes sobre biodiversidad y conservación de insectos: Dilemas, ficciones y ¿soluciones? *Boletín de la S.E.A.*, **20**: 25-55.
- Microsoft Corp. 1985-2001. Microsoft Excel 2002 (10.5815.4219) SP-2.
- Monjeau, J. A. 1999. Papel de los mamíferos en la conservación de áreas naturales. *Mastozoología Neotropical*, **6**: 3-6.
- Posadas, P., D. R. Miranda Esquivel & J. Crisci. 2001. Using phylogenetic diversity measures to set priorities in conservation: an example from southern South America. *Cons.Biol.*, **15**: 1325-1334.
- Ringuelet, R. A. 1961. Rasgos fundamentales de la zoogeografía de la Argentina. *Physis*, **22**: 151-170.
- Rodrigues, A. S. L., R. Tratt, B. D. Wheeler & K. J. Gaston. 1999. The performance of existing networks of conservation areas in representing biodiversity. *Proc. R. Soc. Lond. B*, **266**: 1453-1460.
- Rodrigues, A. S. L., R. D. Gregory & K. J. Gaston. 2000a. Robustness of reserve selection procedures under temporal species turnover. *Proc. R. Soc. Lond. B*, **267**: 49-55.
- Rodrigues, A. S., J. Orestes Cerdeira & K. J. Gaston. 2000b. Flexibility, efficiency, and accountability: adapting reserve selection algorithms to more complex conservation problems. *Ecography*, **23**: 565-574.
- Rolón, L. H. & J. C. Chebez. 1998. *Reservas naturales misioneras*. Editorial Universitaria, Universidad Nacional de Misiones. Posadas. 160 pp.
- Sánchez-Cordero, V., A. Townsend Peterson & P. Escalante-Pliago. 2001. El modelado de la distribución de especies y la conservación de la diversidad biológica. En: Hernández, H. M.; A. N. García Alderete; F. Alvarez & M. Ulloa (Comp.) *Enfoques contemporáneos para el estudio de la biodiversidad*. Instituto de Biología, UNAM. México: 359-379.
- Vane-Wright, R. I., C. J. Humphries & P. H. Williams. 1991. What to protect? – Systematics and the agony of choice. *Biol. Cons.*, **55**: 235-254.
- Williams, P. 2001. Complementarity. En: Levin, S. A. (Ed.). *Encyclopedia of biodiversity*. Academic Press. San Diego. Vol. **I**: 813-829.
- Wilson, D. E., F. Russell Cole, J. D. Nichols, R. Rudran & M. S. Foster (eds.). 1996. *Measuring and monitoring biological diversity. Standard methods for mammals*. Smithsonian Inst. Press. Washington – London. 409 pp.
- World Wide Fund For Nature. 2002. *Global 200. Blueprint for a living planet*. Disponible on line en: <http://www.panda.org>. [Consultada el 13-08-2003].