



Introducción al Modelado de Nichos Ecológicos y Distribuciones de Especies

Enrique Martínez Meyer

emm@ib.unam.mx

Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México

Saber con qué especies compartimos el planeta y en donde viven han sido preguntas fundamentales desde siempre



COLECCIONES CIENTÍFICAS BIBLIOTECAS DE LA BIODIVERSIDAD

300 años de colectas sistemáticas

Distintas colecciones científicas
alrededor del mundo



COLECCIONES CIENTÍFICAS BIBLIOTECAS DE LA BIODIVERSIDAD



Fuente de información primaria
sobre biodiversidad

3 mil millones de ejemplares en el mundo



**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA GEOGRAFIA E INFORMATICA
DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA
HERBARIO INEGI**

NO: 10862

NOMBRE

CIENTIFICO: *Juniperus deppeana Steud. var. robusta Martinez*

CLASE: GIMNOSPERMA

FAMILIA: CUPRESSACEAE

NOMBRE LOCAL: TASCATE

LOCALIDAD: 10 KM N EL TEJAMANIL DE ABAJO.

MUNICIPIO: GUADALUPE Y CALVO

ESTADO: CHIH

FECHA: 07/25/86

COORD: LAT.: 26 22 07 N LONG.: 106 54 25 W

HOJA: G13-4 PUNTO 69

ESCALA: 1: 250 000

HABITAT

REFERENCIA:

TIPO DE VEGETACION: Bosque de pino

ASOCIACION: Pinus leiophylla-Pinus ayacahuite

CLIMA:

AGRIC.:

CULT.:

ESPECIES:

TOPOGRAFIA: LADERA BAJA DE SIERRA EXP.: W PEND.: MODERADA

ALTITUD: 2500 m

SUBSTRATO: RIOLITA-TOBA ACIDA. CAMBISOL CROMICO-LITOSOL-REGOSOL.LIMOSA.

EROSION:

DISTURBIO: ALTO

U.SUELO: FORESTAL

DESCRIPCION DE LA PLANTA: ARBOL. PERENNE. ERECTA. 4.0 m. ESCASO.

ESTRATO: ARBOREO

USOS:

P.UTIL:

FENOLOGIA: FRUCTIFICACION

FL:

FTO: DURO-GLOBOSO

SEMILLA:

OBSERVACIONES: SE OBSERVAN GRAMINEAS Y HUELLAS DE UNA SOBRE EXPLOTACION FORESTAL.

COLECTOR: F. ORDAZ A.

PTO.COL.: 5

NO.: 104

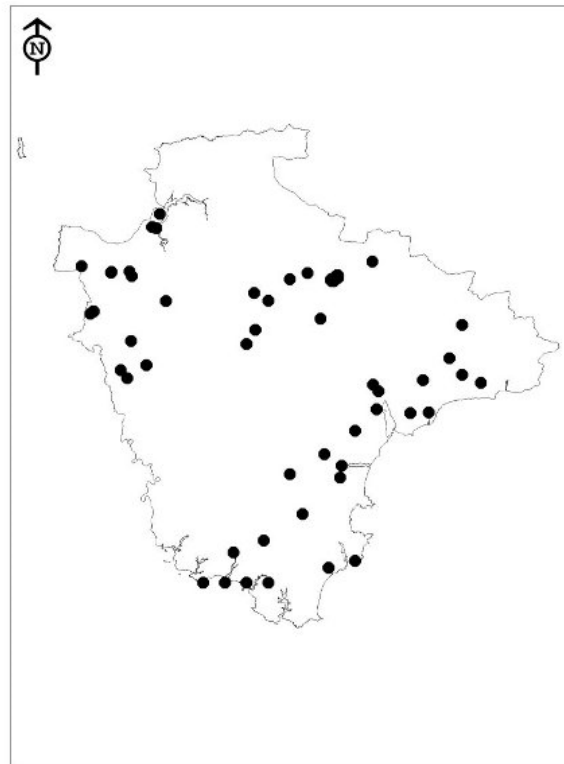
DETERMINO: A.E. MARQUEZ T.

SPV: R

¿Qué es la distribución geográfica de una especie?

En la definición más simple, es su arreglo espacial en el planeta. Es la descripción geográfica de donde vive.

Harvest Mouse Records 2009



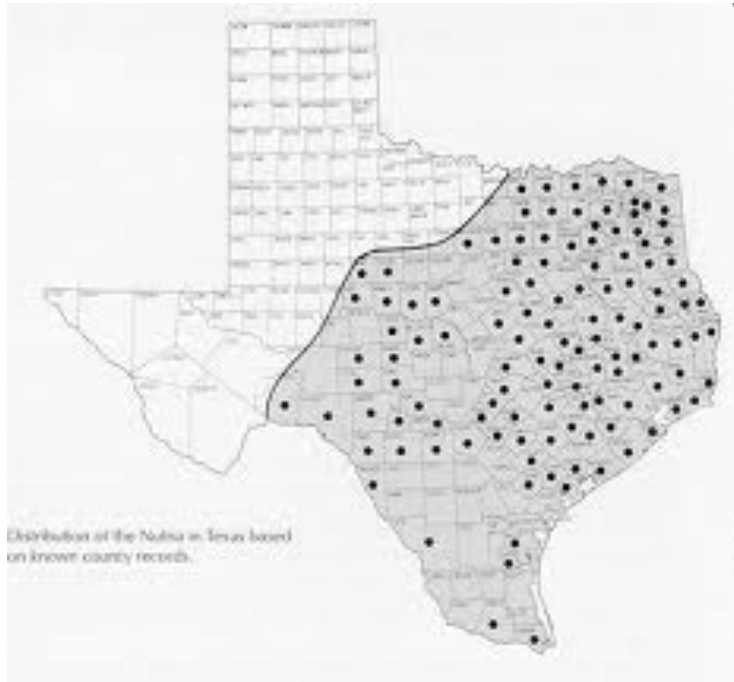
¿Qué es la distribución geográfica de una especie?

Una cosa es qué es la distribución y otra es cómo la representamos

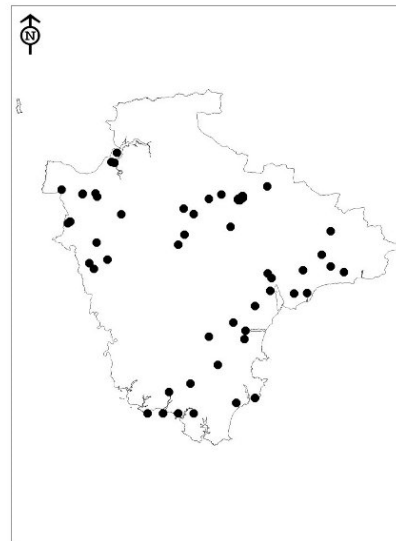


Representación de la distribución de las especies

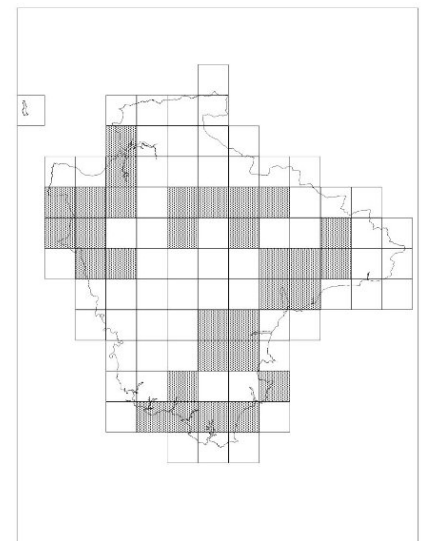
Tradicionalmente, la distribución de las especies se ha representado de manera cartográfica a partir de los puntos georreferenciados sobre mapas



Harvest Mouse Records 2009

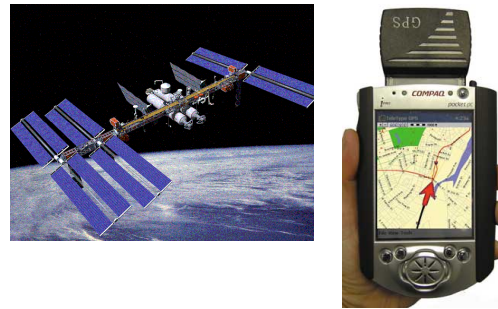
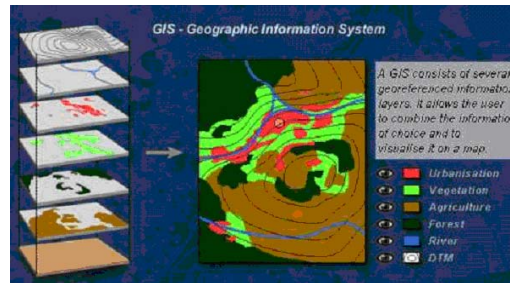


Harvest Mouse Records 2009 (10 km)



Sin considerar los factores locales que la determinan

Las nuevas tecnologías y disciplinas emergentes, como la *Informática de la Biodiversidad*, han impulsado el desarrollo de enfoques metodológicos que permiten generar información útil a partir de datos incompletos; tal es el caso del **modelado de los nichos ecológicos** de las especies y de sus distribuciones geográficas



El modelado de nichos y distribuciones de especies se ha vuelto un enfoque muy popular en los últimos 15 años

Web of Science®

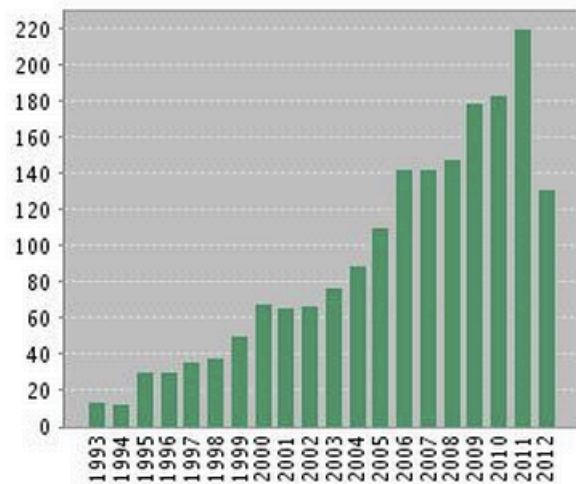
[<< Back to previous page](#)

Citation Report Topic=(niche model) OR Topic=(distribution model)

Refined by: Web of Science Categories=(ENVIRONMENTAL SCIENCES) AND Web of Science Categories=(ENVIRONMENTAL SCIENCES OR ECOLOGY) AND Web of Science Categories=(ECOLOGY) AND Web of Science Categories=(ECOLOGY OR ENVIRONMENTAL SCIENCES OR BIODIVERSITY CONSERVATION OR AGRICULTURE MULTIDISCIPLINARY)
Timespan=All Years. Databases=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI.

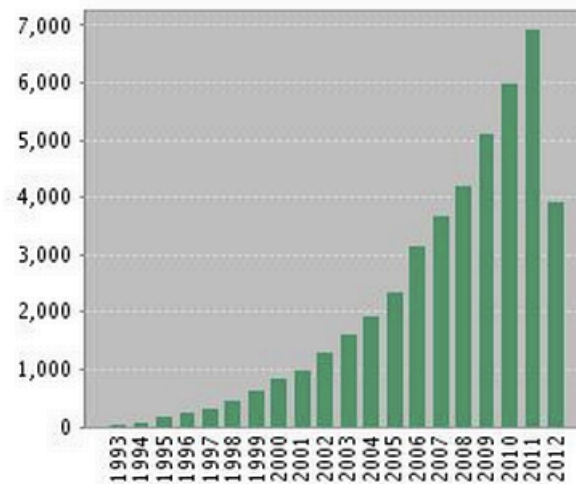
This report reflects citations to source items indexed within Web of Science. Perform a Cited Reference Search to include citations to items not indexed within Web of Science.

Published Items in Each Year



The latest 20 years are displayed.

Citations in Each Year



The latest 20 years are displayed.

Results found: 1861

Sum of the Times Cited [?] : 44155

Sum of Times Cited without self-citations [?] : 41854

Citing Articles [?] : 31611

Citing Articles without self-citations [?] : 30734

Average Citations per Item [?] : 23.73

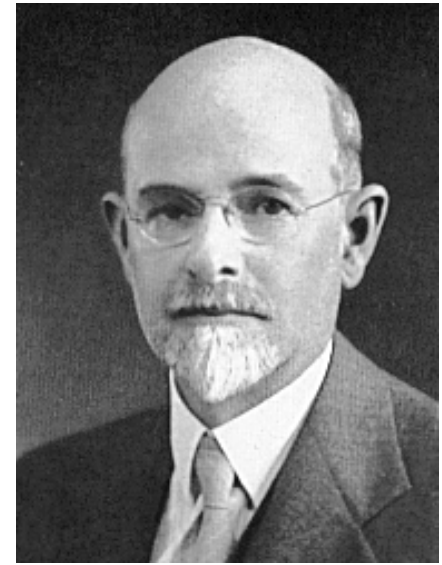
h-index [?] : 95

¿Qué es el nicho ecológico?

1. El área particular de un hábitat que ocupa un organismo
2. La función o posición de un organismo o población en una comunidad ecológica

Joseph Grinnell (1916-28)

“...the ultimate distributional unit, within which each species is held by its structural and instinctive limitations” (1924).



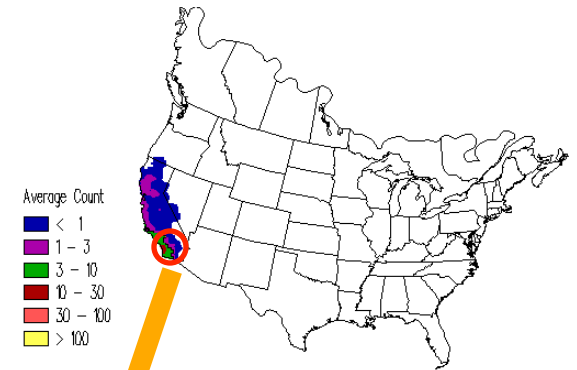
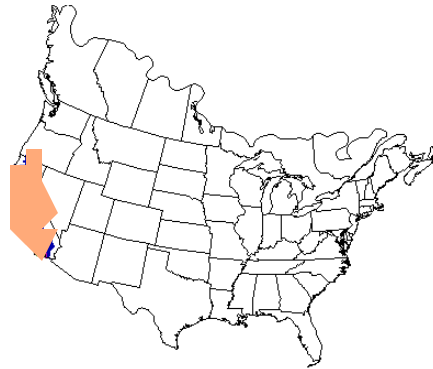
Every species has its own physiological, morphological, and behavioral profile, which makes it suitable to occupy particular spaces offered by nature.

Joseph Grinnell (1916-28)

La distribución de las especies tiene una organización escalar con determinantes distintos en cada nivel



California Thrasher
(*Toxostoma redivivum*)



Nicho
Ecológico o
Ambiental

Alimento

Sitios de Anidamiento

Refugios contra depredadores



Charles Elton (1927)



“...[‘Niche’ describes] the status of an animal in its community, to indicate what is *doing* and not merely what it looks like...”

“...the ‘niche’ of an animal means its place in the biotic environment, *its relation to food and enemies.*”

El enfoque es con respecto al papel funcional de las especies en las redes tróficas. Las condiciones abióticas no son consideradas

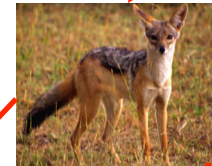
Charles Elton (1927)

Comunidad de Mamíferos de África

**Depredadores
tope**



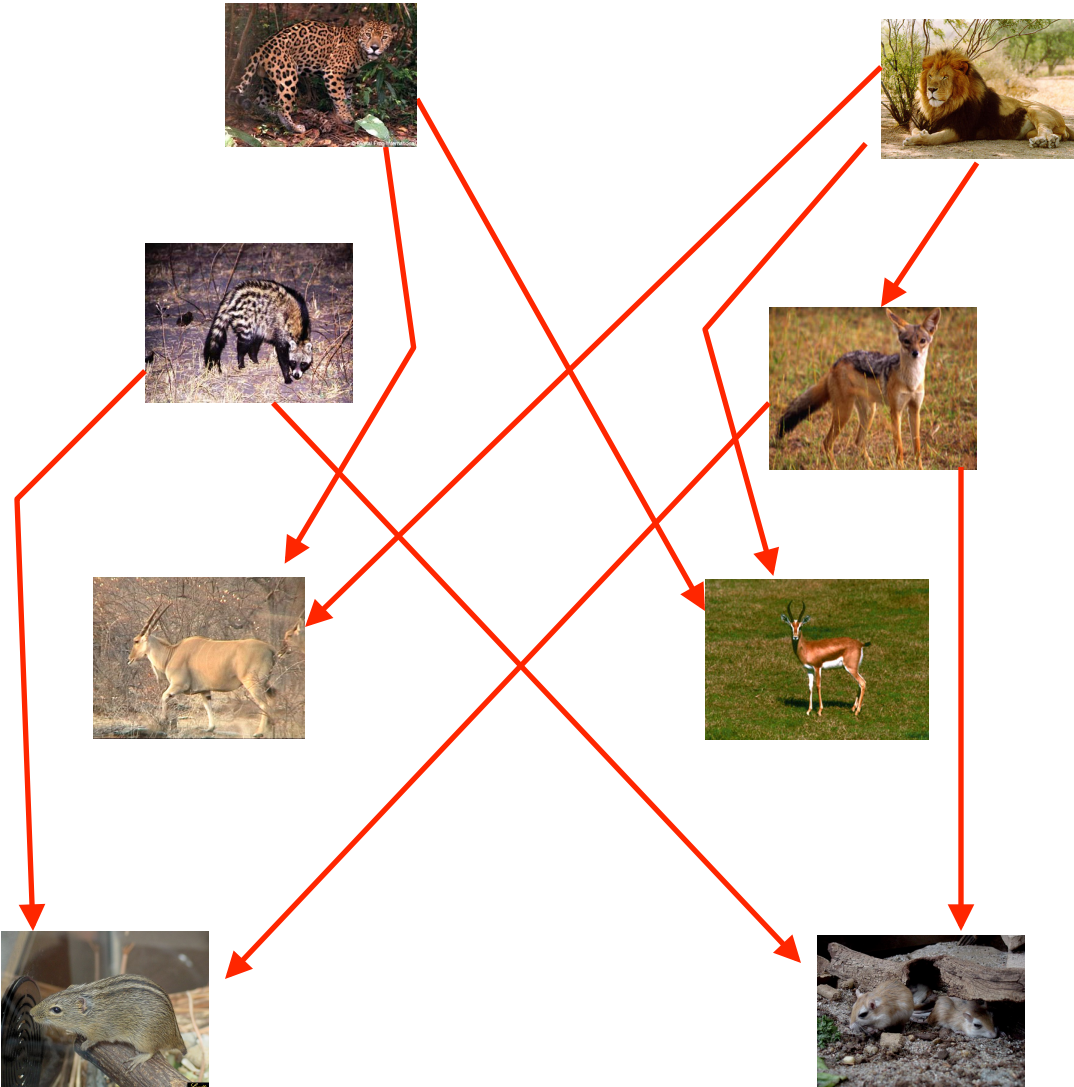
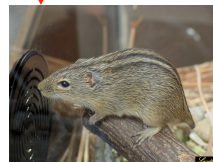
**Meso-
carnívoros**



**Hervíboros
grandes**

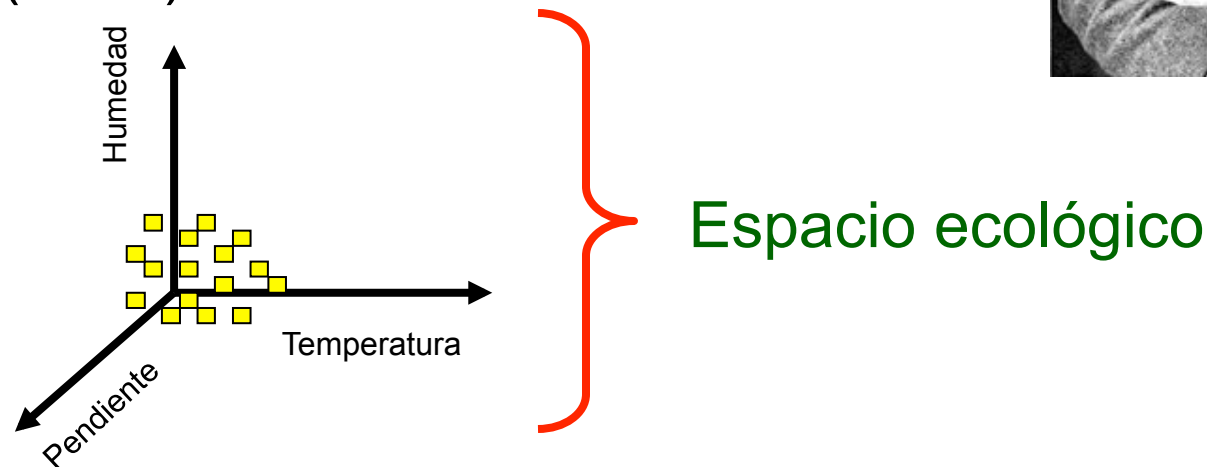
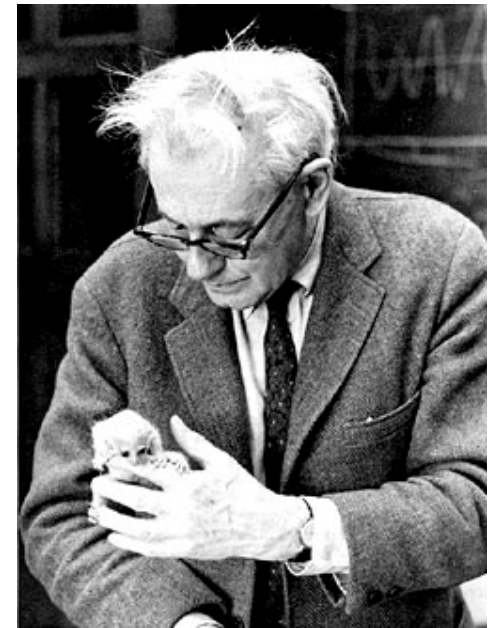


**Hervíboros
menores**



G. Evelyn Hutchinson (1944-58)

“The term niche... is here defined as the sum of all the environmental factors acting on the organism; the niche thus defined is a region of an n -dimensional hyper-space...” (1944).



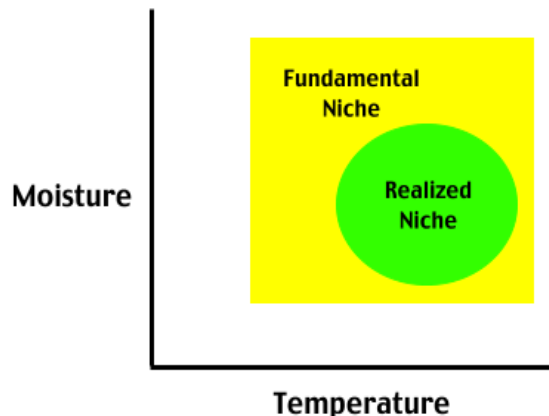
“...if this procedure could be carried out [with] all X_n variables, both physical and biological, the fundamental niche of species will completely define its ecological properties. The fundamental niche defined in this way is merely an abstract formalization of what is usually meant by an ecological niche” (1957).

G. Evelyn Hutchinson (1944-58)

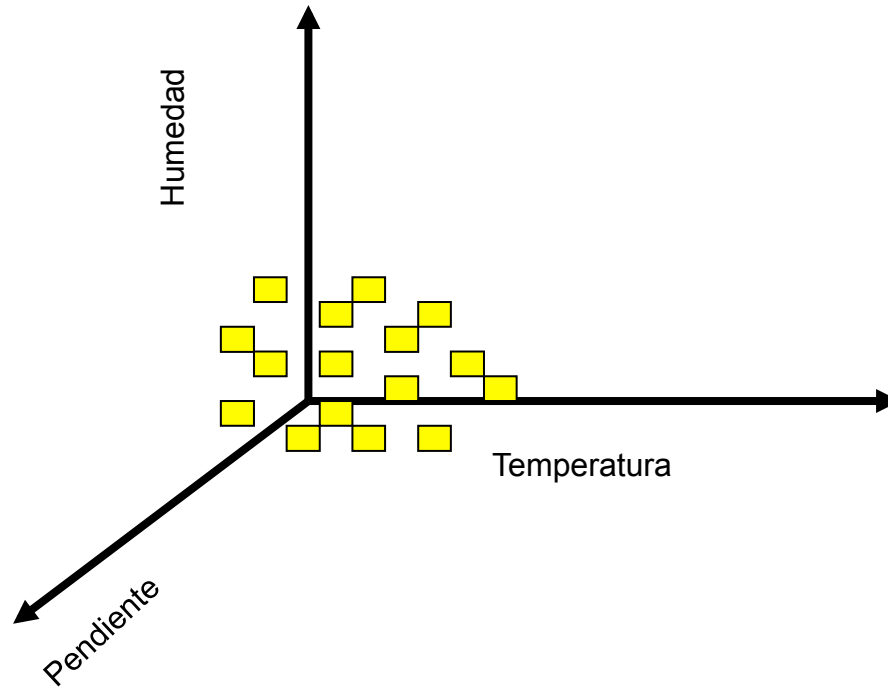
Las condiciones bajo las cuales las especies podrían vivir son a menudo más amplias que las condiciones en donde en realidad viven, y esto se debe frecuentemente a las interacciones bióticas.

Nicho Fundamental: todo el espacio del hipervolumen n -dimensional en la ausencia de otras especies.

Nicho efectivo, materializado, realizado (Realized niche): la parte del nicho fundamental en la que las especies están restringidas por las interacciones interespecíficas.



G. Evelyn Hutchinson (1944-58)



“every point of which corresponds to a **state of the environment** which would permit the species to **exist indefinitely**” (1957).

Hay 3 preguntas que son importantes considerar dentro de este concepto

1) ¿Qué es existir indefinidamente?

2) ¿Qué es el estado del ambiente? O dicho de otra forma ¿qué variables constituyen el hipervolumen?

3) ¿Cómo es la relación entre las variables y las especies?

1) ¿Qué es la existencia de una especie?

Desde el punto de vista poblacional, es en donde la tasa intrínseca de crecimiento poblacional (r) es mayor a 0

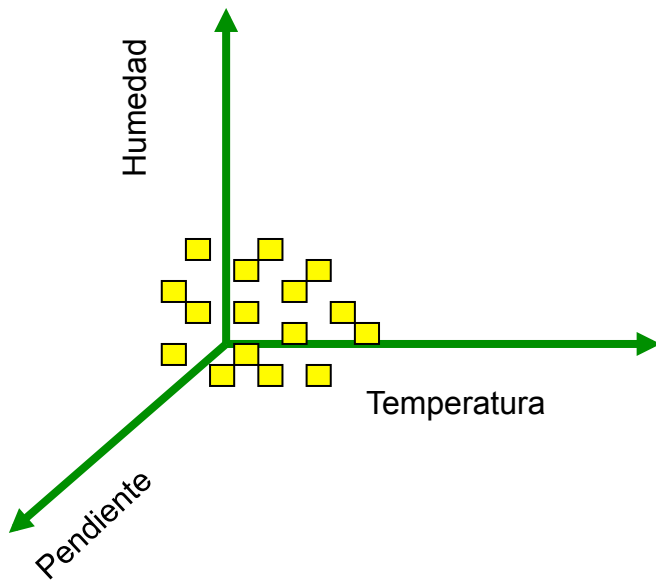
Sin embargo....

Hay elementos ajenos al nicho que afectan r :

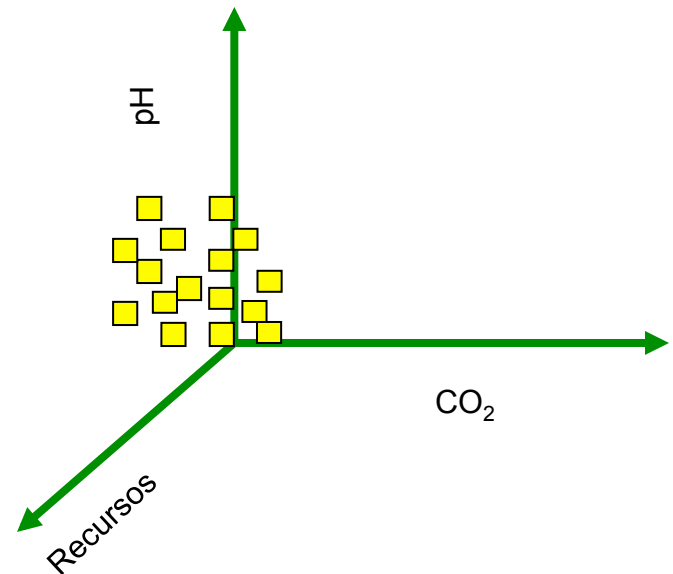
- a) Factores de denso-dependencia e interacciones interespecíficas
- b) Procesos de migración que conforman sistemas fuente-sumidero

2) ¿Qué variables constituyen el hipervolumen?

“the set, in a multidimensional space, of environmental states within which a species is able to survive” (Hutchinson 1957).



Variables no interactuantes

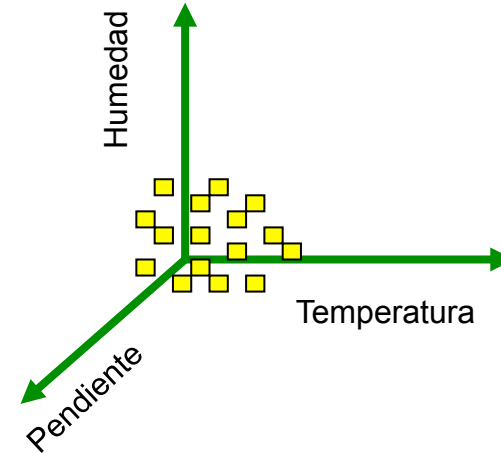


Variables interactuantes

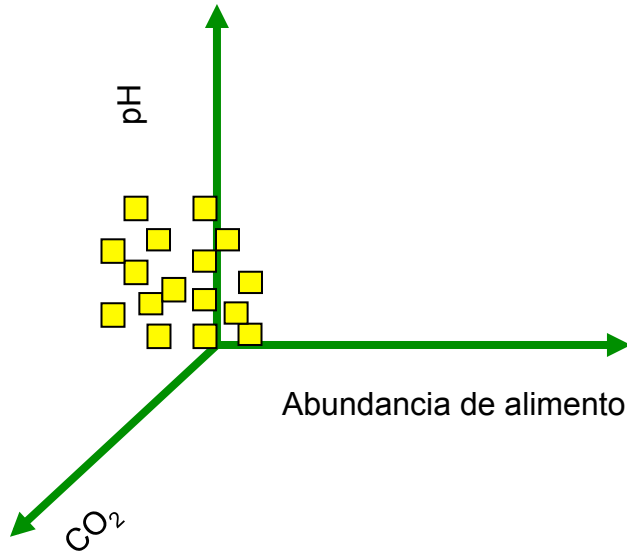
3) ¿Qué relación existe entre las variables y las especies?

Variables no interactuantes = Independientes de la especie

Escenopoéticas



Variables interactuantes = Se ven modificadas por la especie

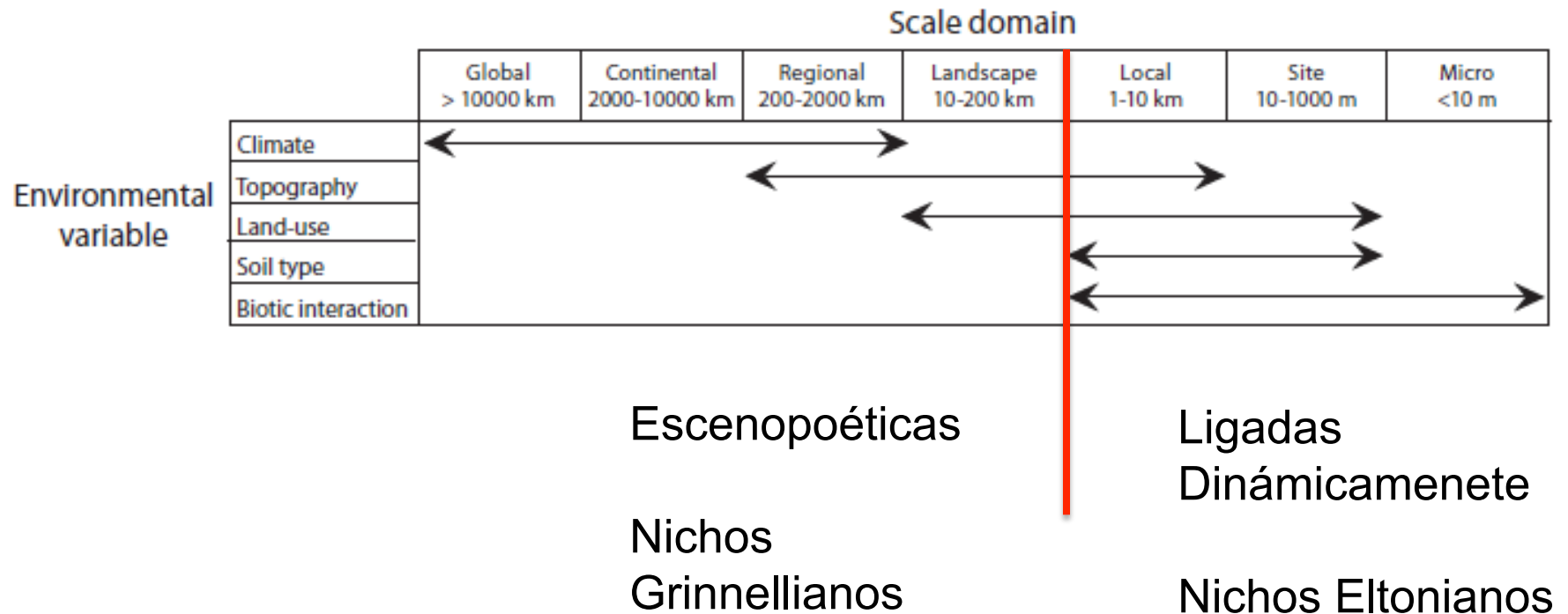


Ligadas dinámicamente

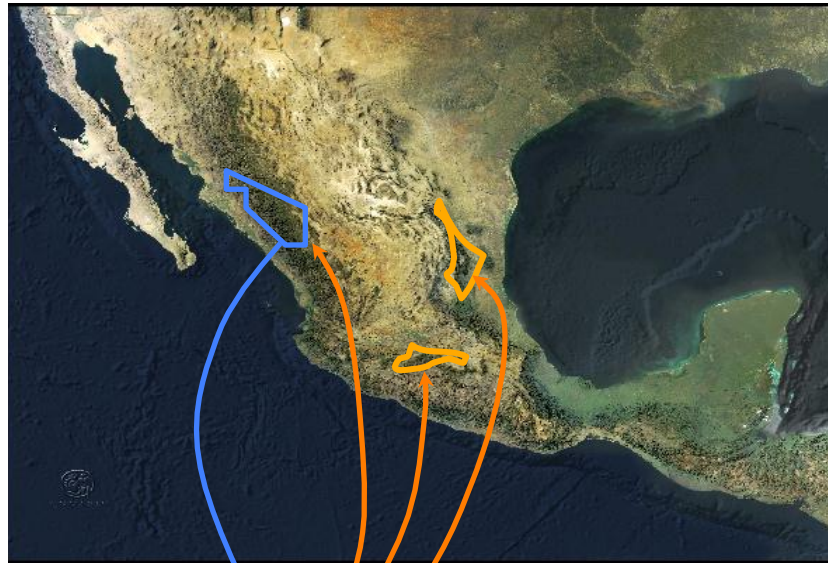
Bionómicas (*sensu* Hutchinson 1978)

3) ¿Qué relación existe entre las variables y las especies?

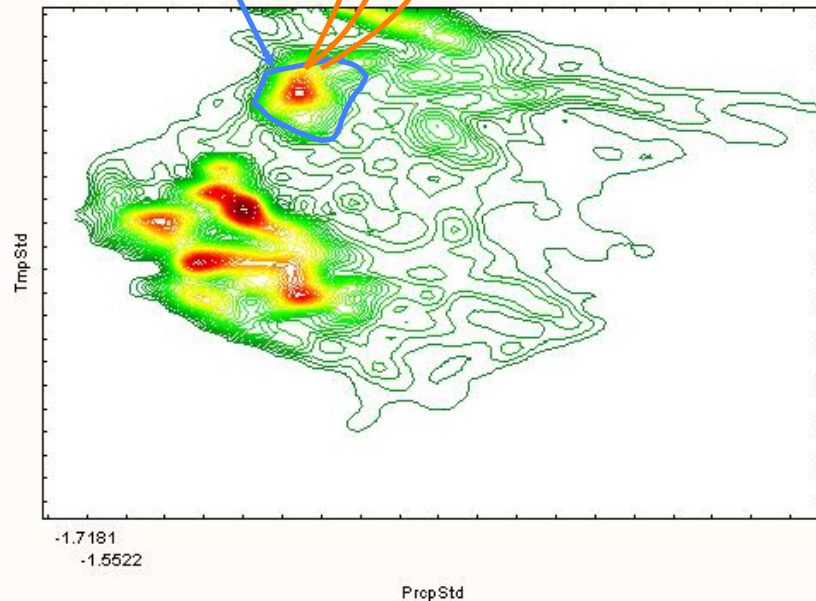
Es dependiente de la escala



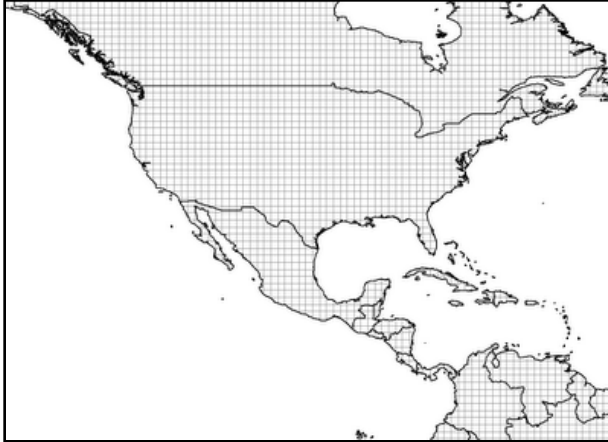
La Dualidad de Hutchinson



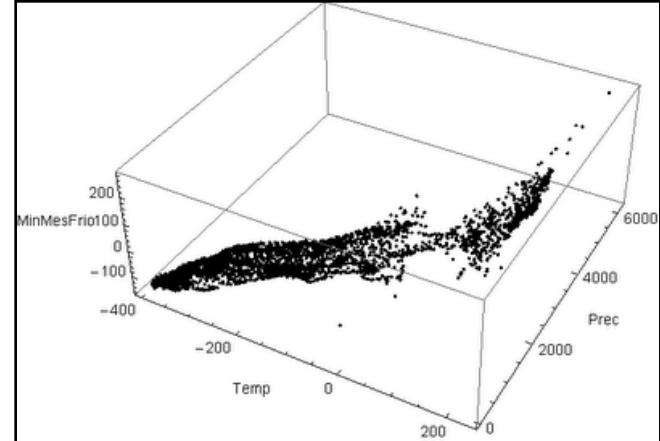
Espacio geográfico
2-dimensiones



Espacio ecológico
N-dimensiones



El espacio **G** se representa por medio de celdas

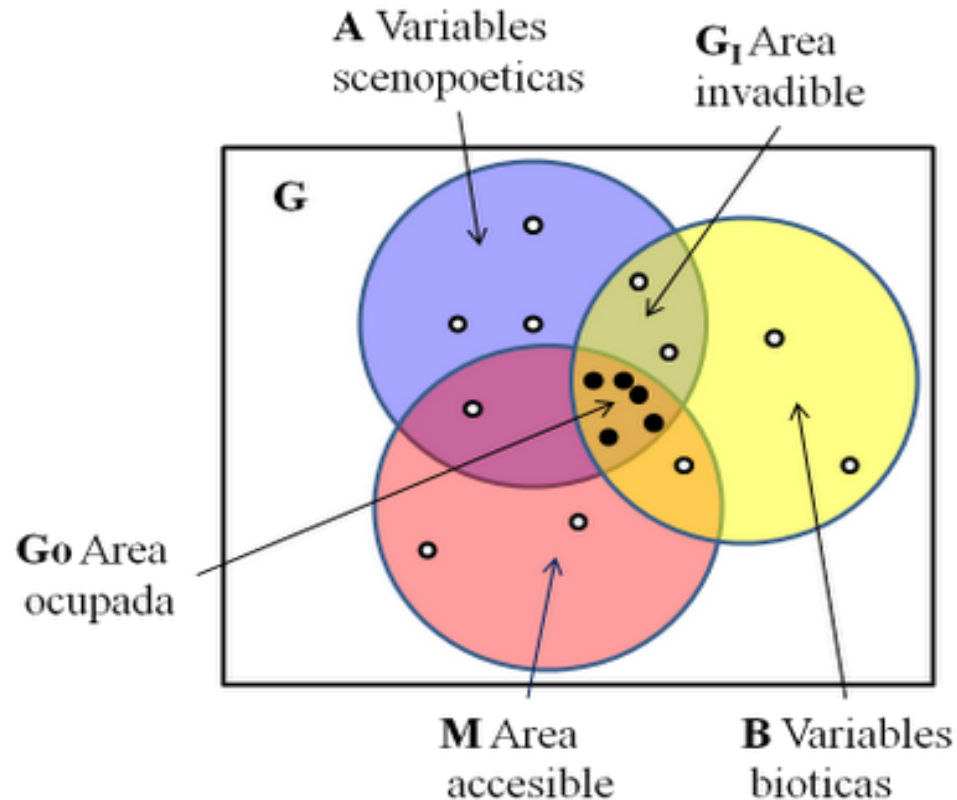


Cada celda del espacio **G** tiene una combinación de variables en el espacio **E**

Así, un nicho es un subconjunto de **E**, y un área de distribución es un subconjunto de **G**, definidos ambos en términos de propiedades biológicas y ecológicas de una especie.

Diagrama BAM

(Soberón y Peterson 2005)



El diagrama BAM, ilustra los tres dominios determinan las áreas de distribución de las especies: **A**, **B** y **M**.

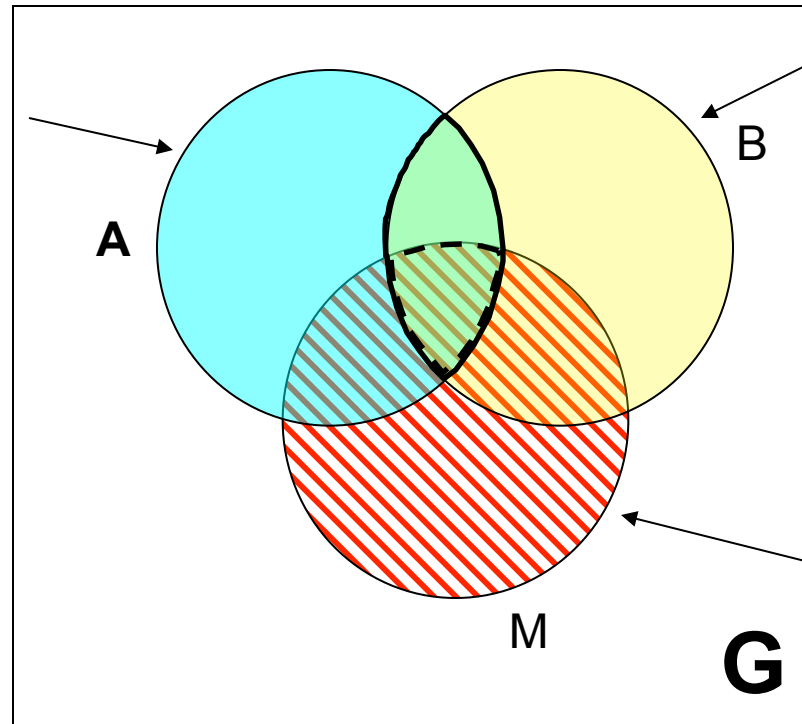
Los círculos cerrados representan datos de presencias y los abiertos diferentes clases de ausencias.

Formalización del BAM

$$\frac{1}{x_i^j} \frac{dx_i^j}{dt} = r_i(\mathbf{e}^j) - \varphi_i^j(\mathbf{x}^j; \mathbf{R}_i^j) + \psi^j(\mathbf{x}; \mathbf{T})$$

$r_i(\mathbf{e}^j)$

Grinnell,
Variables
escenopoéticas



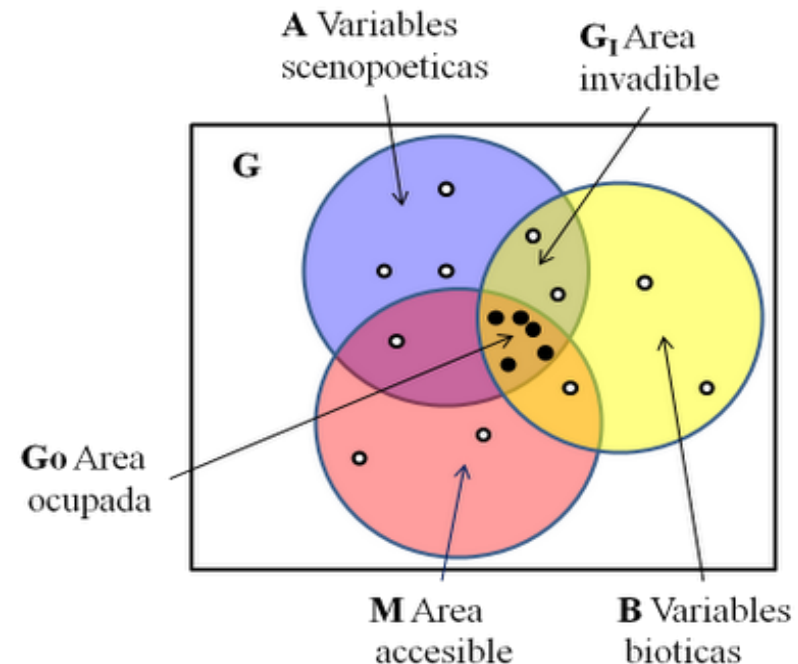
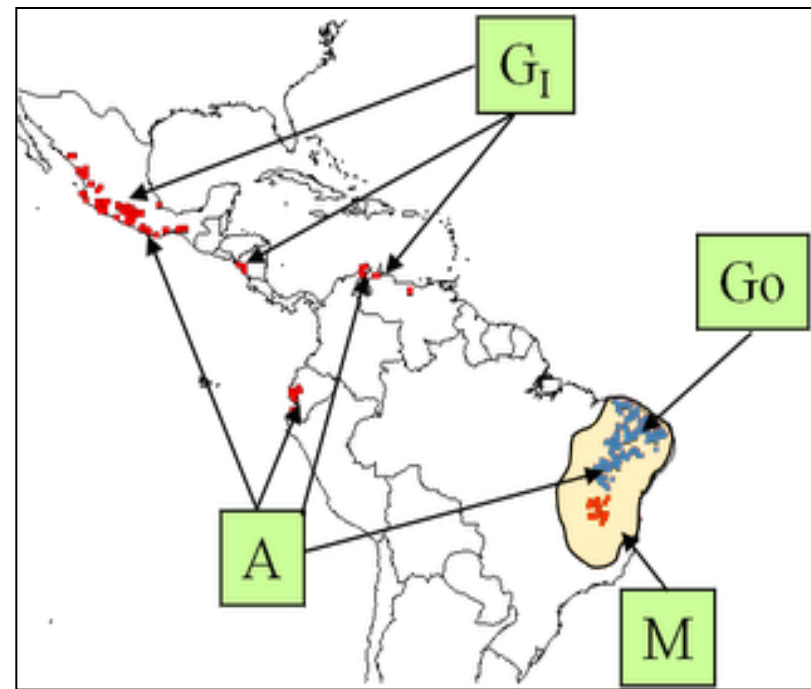
$\varphi_i^j(\mathbf{x}^j; \mathbf{R}_i^j)$

Elton,
Variables
interactuantes

$\psi^j(\mathbf{x}; \mathbf{T})$

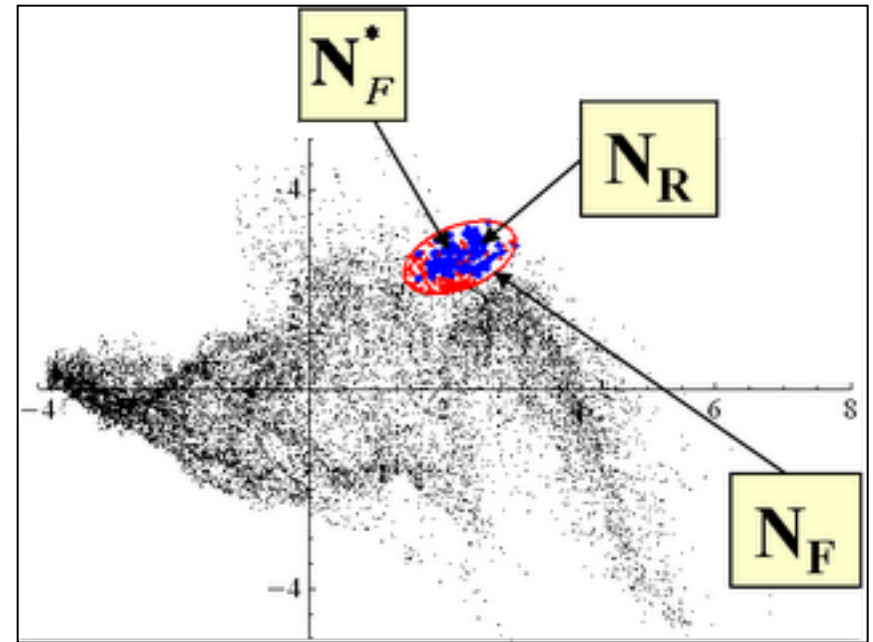
Movimiento

- **A:** Región del planeta donde se encuentran las condiciones escenopoéticas favorables para una sp.
- **Área Ocupada (G_O):** La región del planeta donde la probabilidad de encontrar a una especie sería alta. Es también, por hipótesis, la región donde coinciden los factores A, B y M.
- **Área Inadivible (G_I):** La región del planeta en donde, además de condiciones escenopoéticas favorables, existe un ambiente biótico adecuado para la especie.
- **Distribución Potencial (G_p):** Es la suma de $G_O + G_I$
- **G-espacio:** Región del planeta, expresada como una retícula en un SIG. Un espacio **G** tiene una **extensión** (México, Norte América) y una **resolución** (tamaño de las celdas en la retícula).
- **Región de Accesibilidad (M).** Región del planeta que la especie ha podido "muestrear", en el sentido de haber sido accesible a propágulos, dispersores, durante un cierto periodo.



E-espacio: Un espacio abstracto, compuesto por las n variables escenopoéticas utilizadas para representar las condiciones ambientales que una especie tolera. Habitualmente compuestos por **variables bioclimáticas** o topográficas o ambas. Es frecuente utilizar también transformaciones de éstas, como componentes principales.

Nichos Grinnellianos: Un subconjunto del espacio **E** compuesto por variables escenopoéticas.

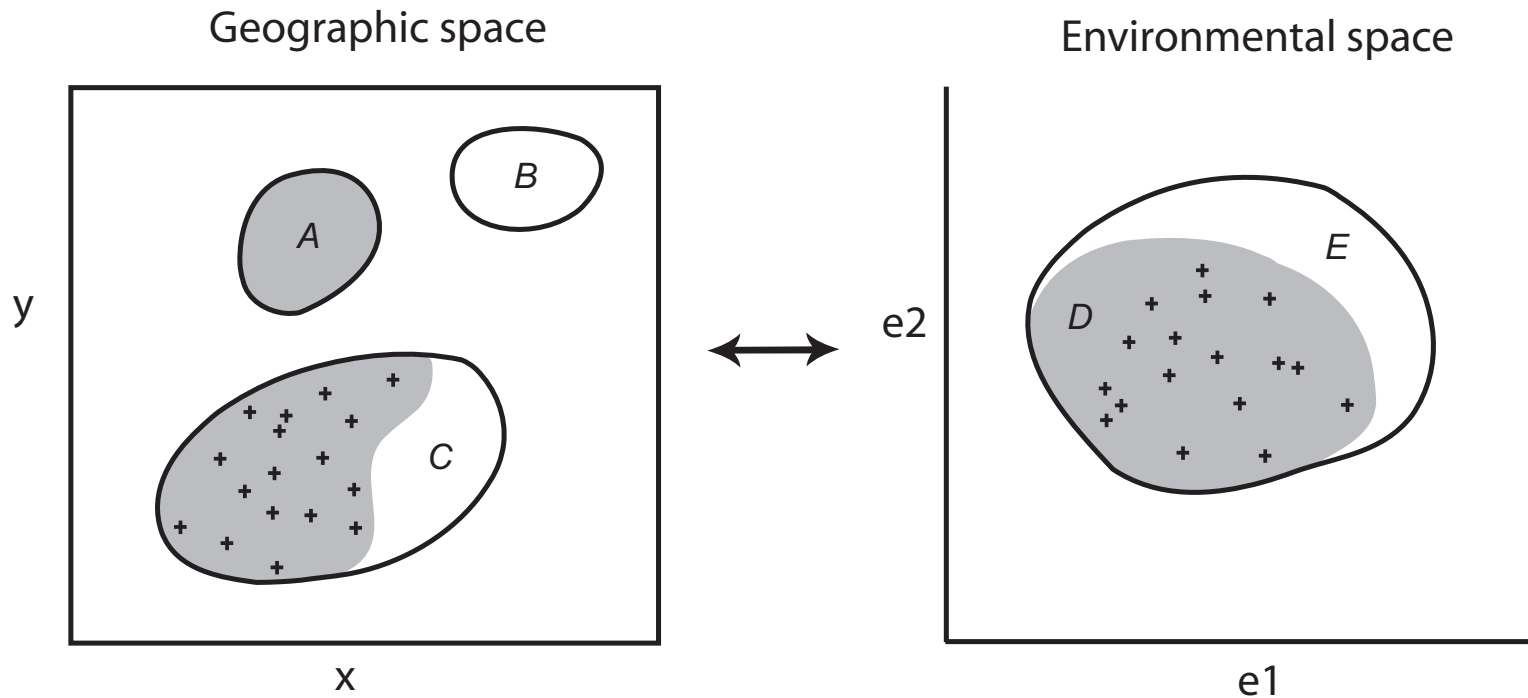


Nicho Fundamental (N_F): El conjunto de condiciones escenopoéticas que permiten que una especie sobreviva (que su tasa intrínseca de crecimiento sea positiva). Generalmente imposible de medir, pero se puede aproximar mediante experimentos fisiológicos. Es la elipse de color rojo.

Nicho Fundamental Existente (N_F^*): La intersección del nicho fundamental con el espacio de variables ofrecidos por **G**. Son todos los puntos (rojos y azules) dentro de la elipse en la ilustración.

Nicho Realizado (N_R): Lo que queda del nicho fundamental existente en donde en realidad vive la especie, considerando las interacciones con competidores, depredadores, etc. Son los puntos azules del diagrama.

El Modelo BAM en los espacios geográfico y ecológico



- + Known species occurrence record
- Occupied distributional area, G-o (left panel)/
Occupied niche space, E-o (right panel)
- Abiotically suitable area, G-a (left panel)/
Scenopoetic existing fundamental niche, E-a (right panel)

Mundo de Hutchinson

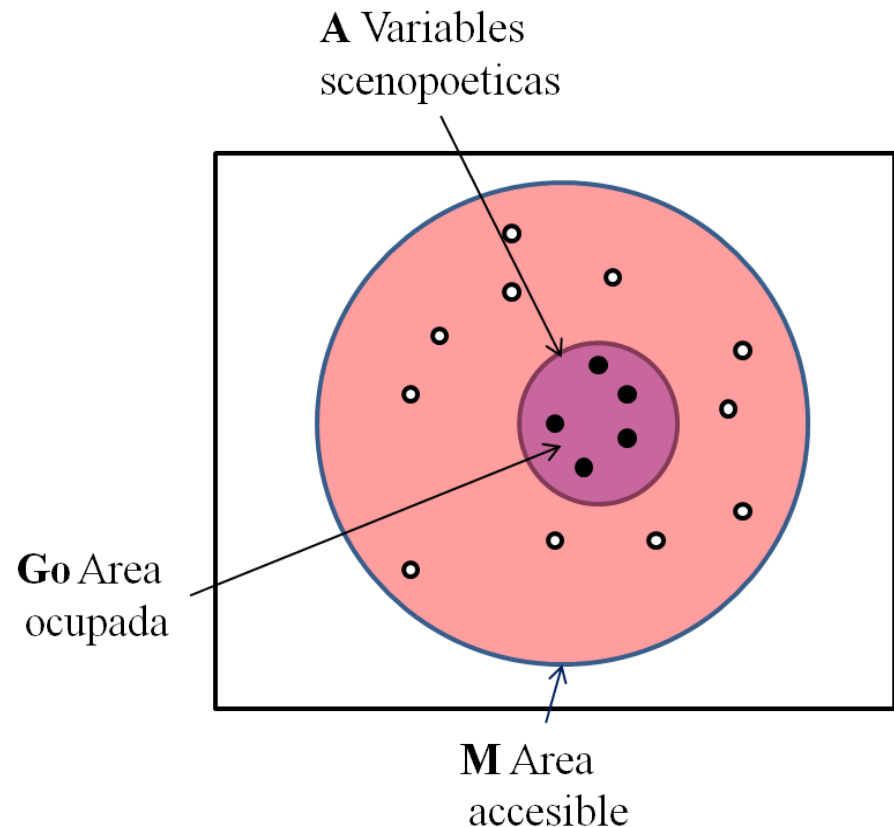
Se supone que la dispersión no es una limitante al área ocupada. Especies con amplia capacidad de dispersión, o de distribuciones continentales pueden ser buenos ejemplos.

1) Todas las ausencias tienen una sola causa (medio ambiente inadecuado).

2) Las presencias se deben a un único factor, por lo que todos los errores de comisión se deberían a una pobre estimación de un factor para el cual existen datos (variables ambientales).

3) En este escenario $G_o = A$ y los métodos basados en presencias solas harán un buen o mal trabajo de estimar ambas zonas por igual.

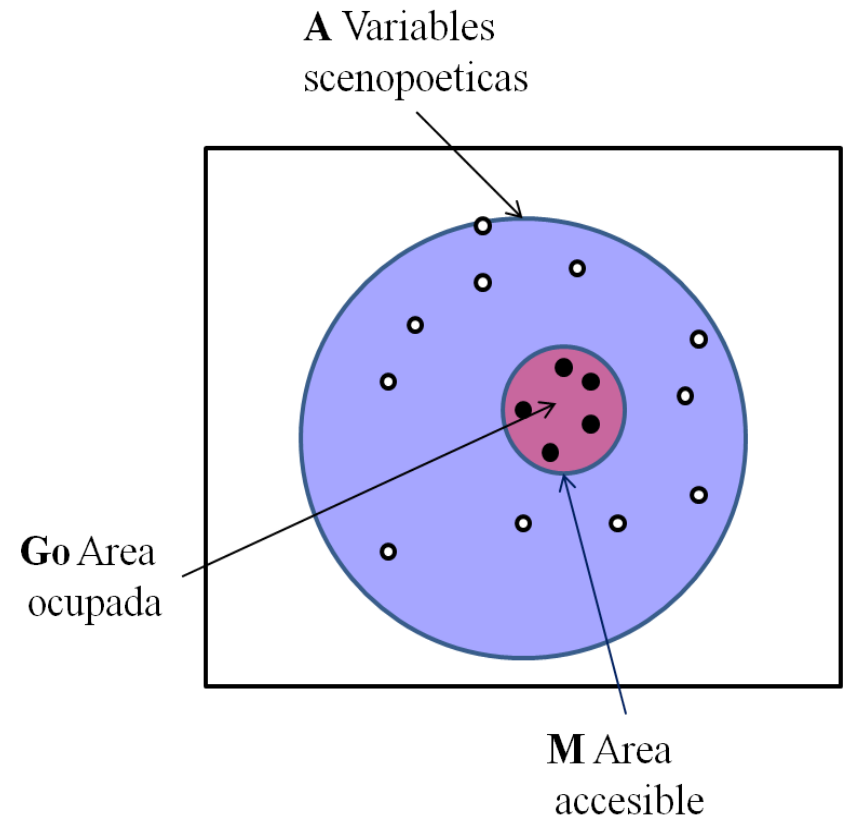
Un post-proceso utilizando hipótesis biogeográficas para recortar el área estimada puede ser innecesario.



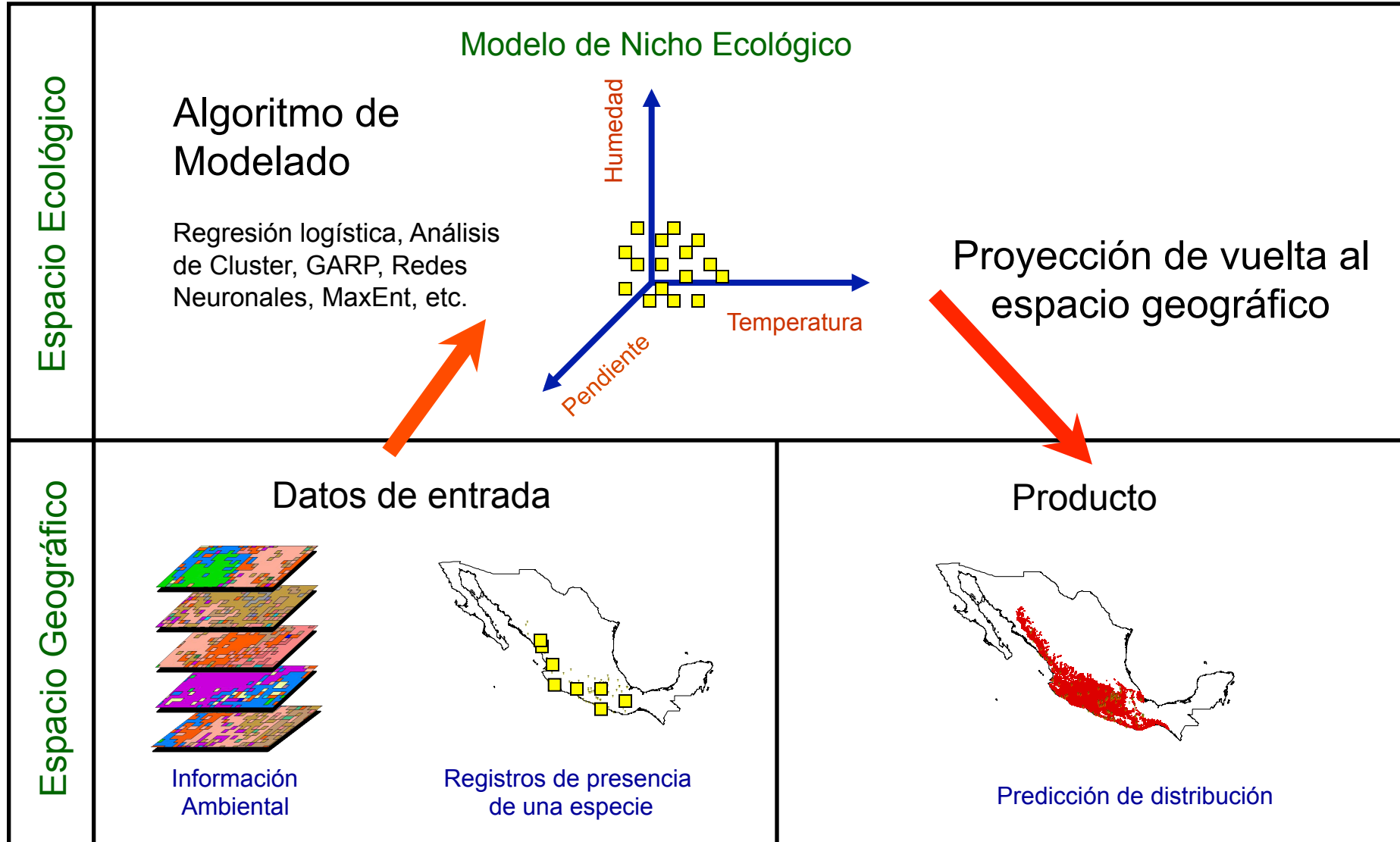
Mundo de Wallace

El factor limitante para establecer el área ocupada **Go** es la capacidad de dispersión. Especies limitadas a ambientes muy particulares (cuevas, pequeños cuerpos de agua, etc.) pueden ser ejemplos de este escenario.

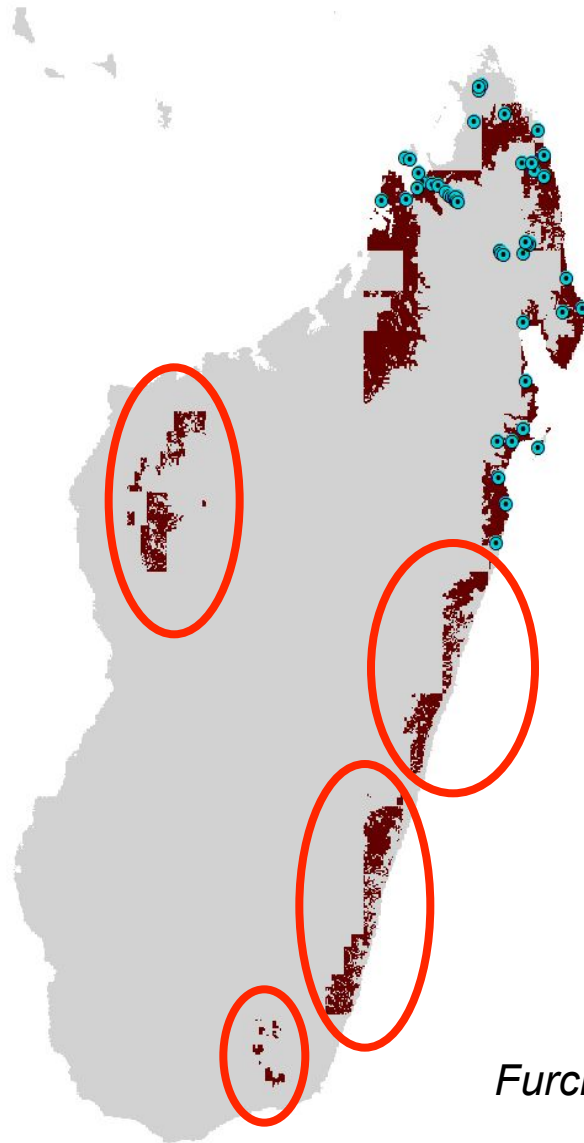
- 1) Todas las ausencias tienen una sola causa (la incapacidad de dispersarse).
- 2) Las presencias se deben a un único factor, por lo que todos los errores de comisión se deberían a una pobre estimación de un factor para el cual no existe información (la dispersión).
- 3) En este escenario **A** contiene a **Go** y los métodos basados en presencia solas, en el mejor de los casos, proveerán de una estimación mas o menos completa de **A**.



El proceso de modelado de nichos ecológicos y distribuciones geográficas

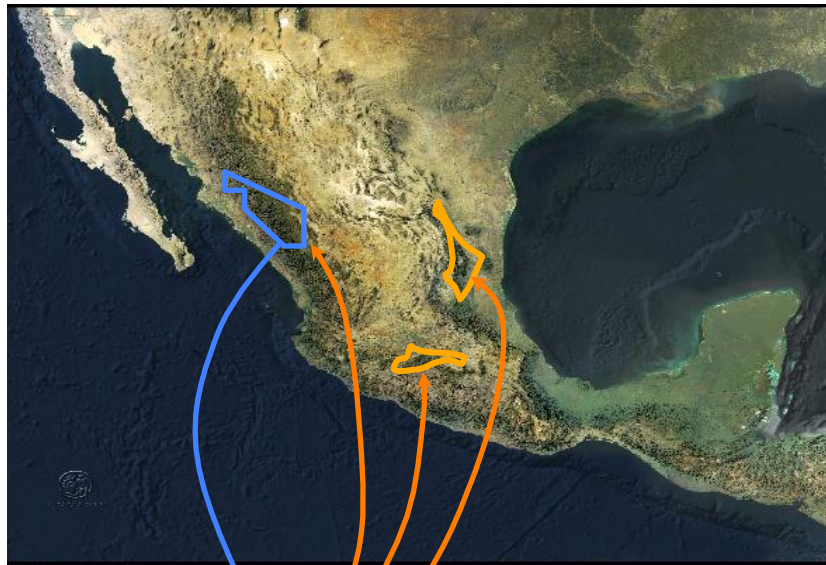


En un modelo de nicho ecológico ¿qué representan las áreas de “sobrepredicción”?

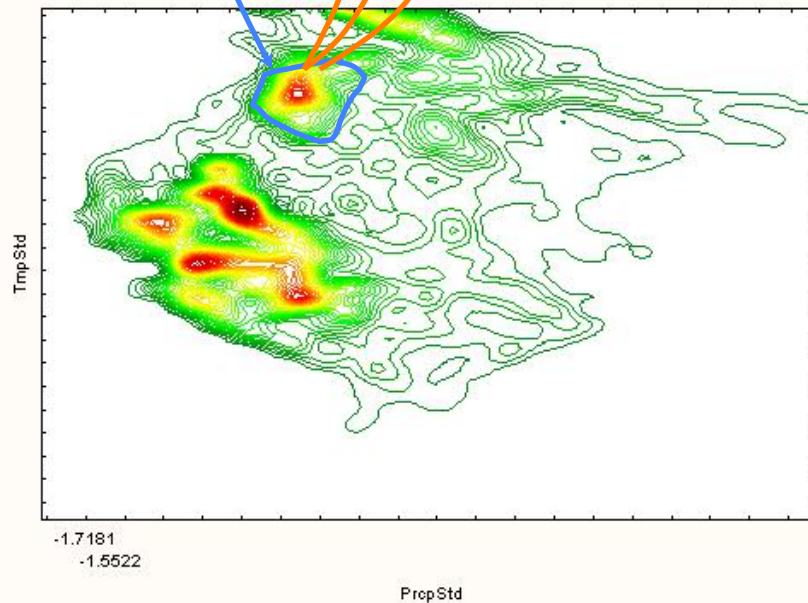


Furcifer pardalis

Relación entre los espacios geográfico y ecológico: la dualidad de Hutchinson



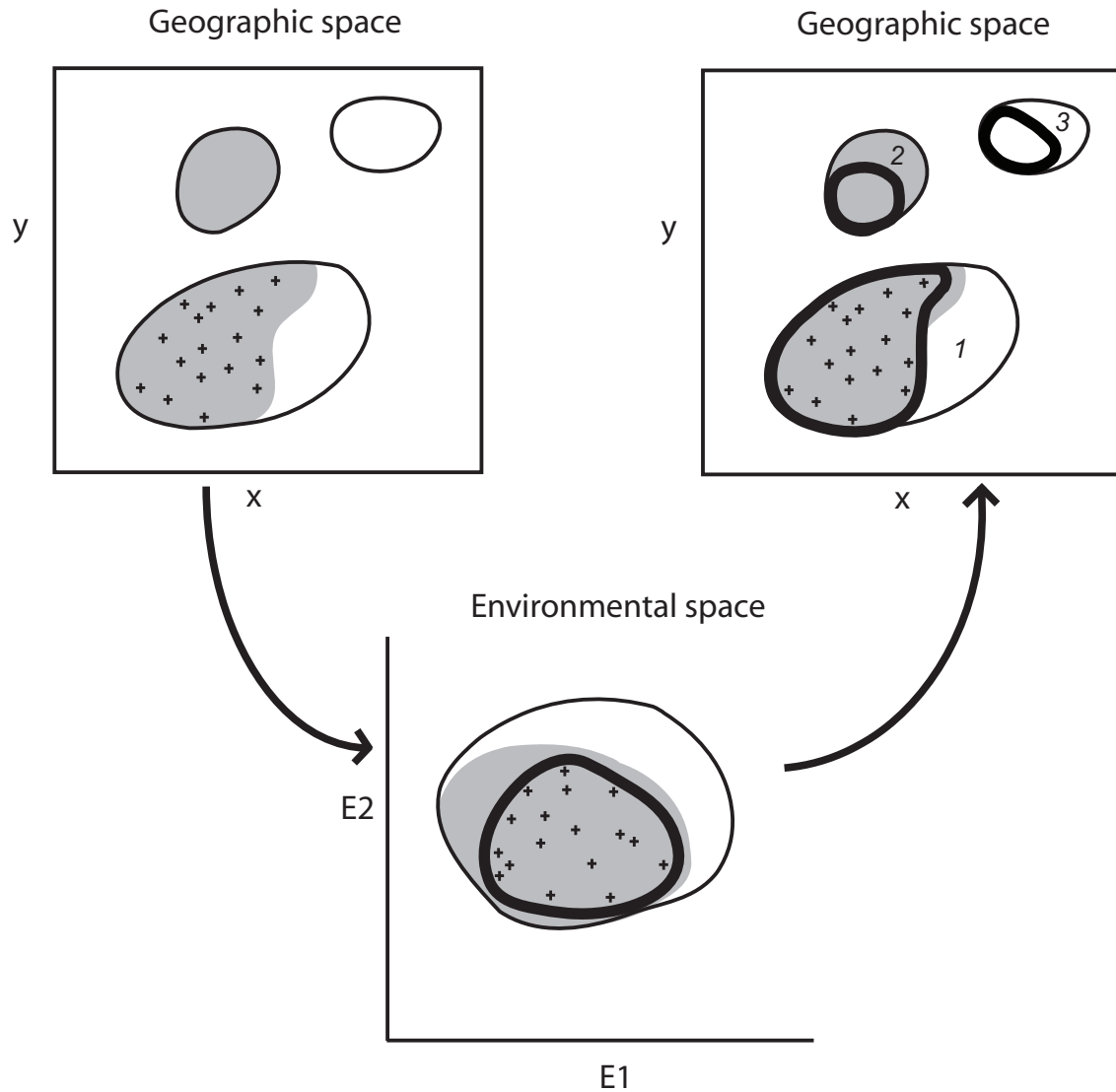
Espacio geográfico
2-dimensiones



Espacio ecológico
N-dimensiones

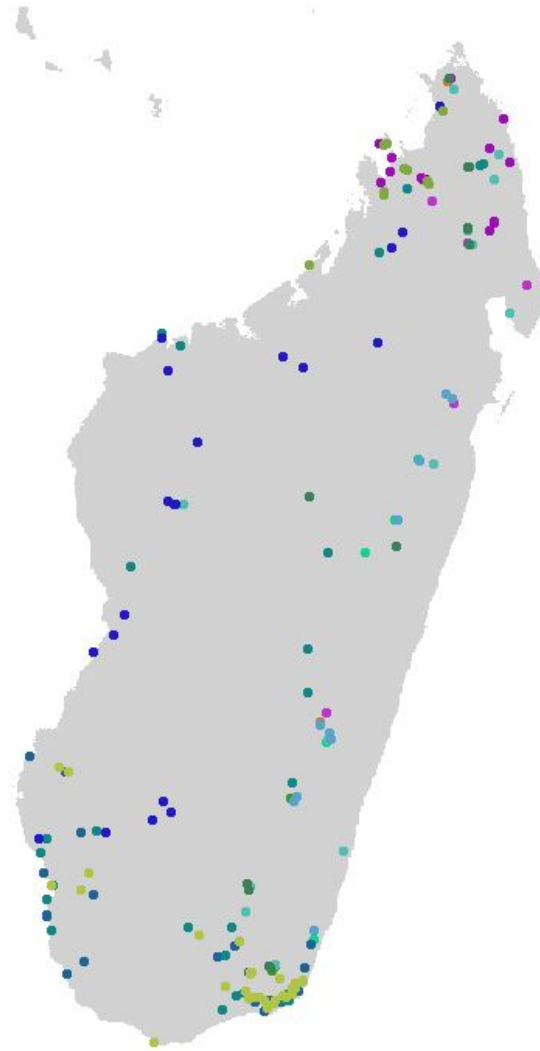
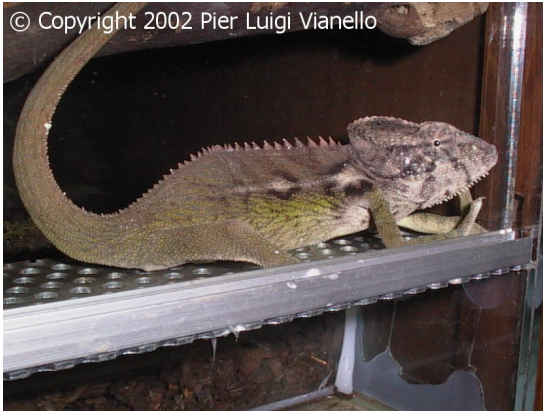
Para cada punto en el espacio geográfico existe 1 y sólo 1 punto en el espacio ecológico; en cambio, para cada punto en el espacio ecológico puede haber más de un punto en el espacio geográfico

El proceso de modelado de nichos y distribuciones

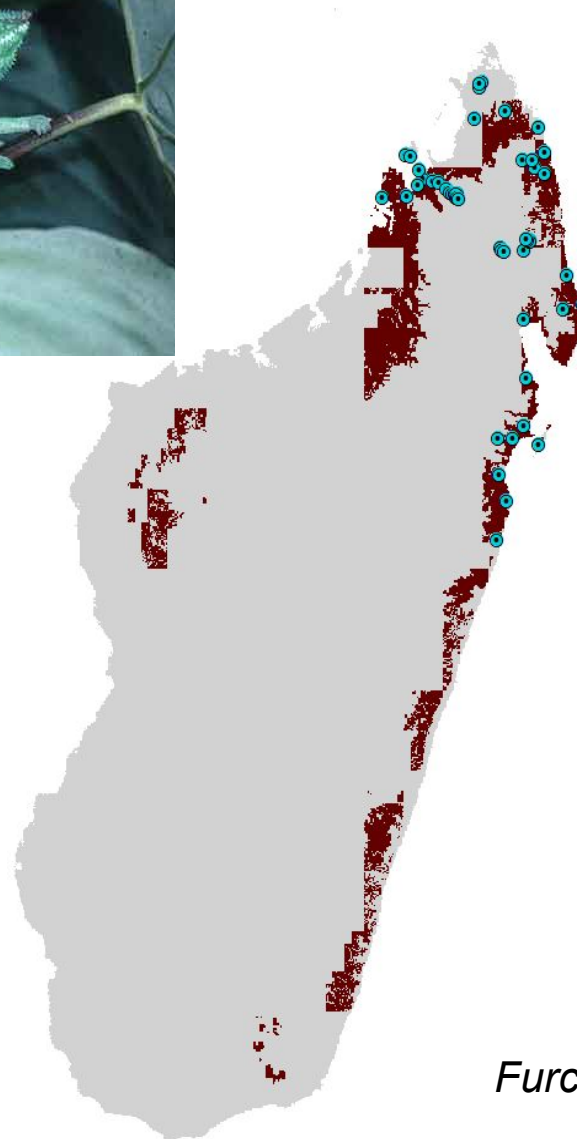


Distribución de Camaleones en Madagascar

Raxworthy *et al.* 2003. *Nature*



Áreas de distribución de especies conocidas y nuevas: los camaleones en Madagascar



Furcifer pardalis

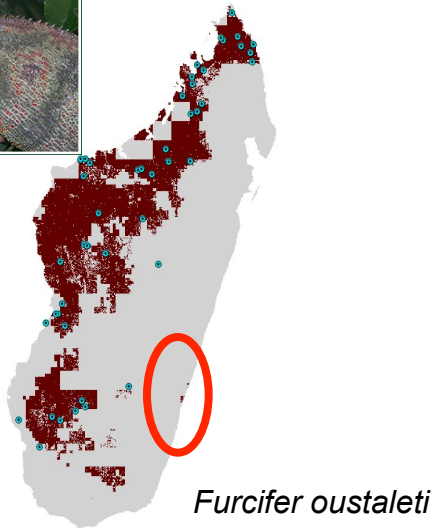
[illegible]

Sitios	<i>C. brevicornis</i>	<i>C. gastrotaenia</i>	<i>C. nasuta</i>	<i>C. parsonii</i>	<i>F. lateralis</i>	<i>F. pardalis</i>	<i>F. oustaleti</i>	<i>F. verrucosus</i>	<i>B. nasus</i>	<i>B. stumpffi</i>	<i>B. superciliaris</i>
Berara	-	-	+	-	+	+	+	-	-	+	-
NE Manongari	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-
Bemanevika	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-
Lohanandrora	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	-
Tampolo	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Andranomay	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+
Ambatovy	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+
Ankazomivady	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
And./Rano. Corridor	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+
Ivohibe Corridor	+	+	+	+	-	-	-	-	+	-	+
Bemananteza	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-

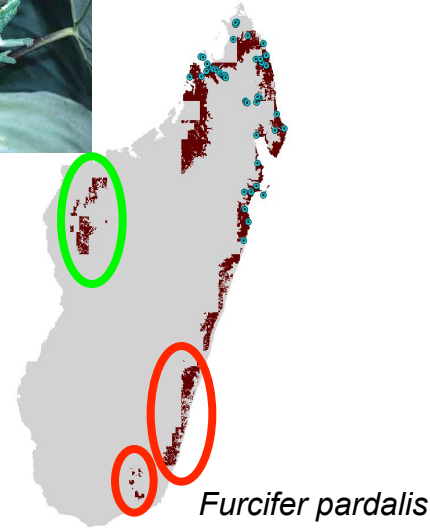
Áreas de distribución de especies conocidas y nuevas

Muestreos recientes:

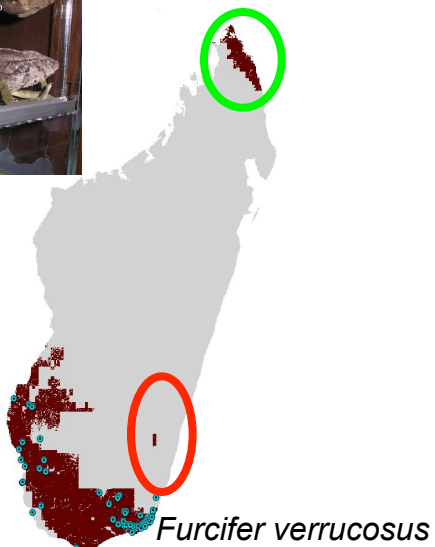
7 especies nuevas localmente endémicas en sitios de sobre-predicción de los modelos



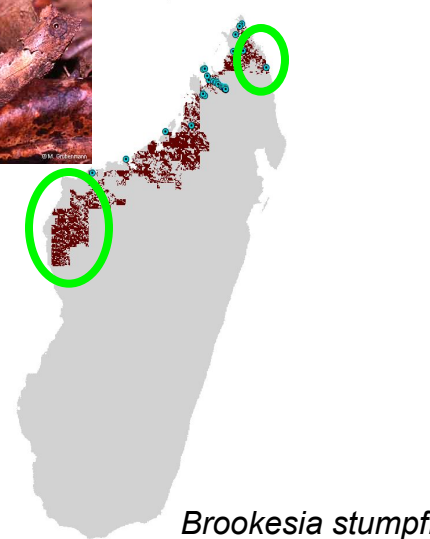
Furcifer oustaleti



Furcifer pardalis

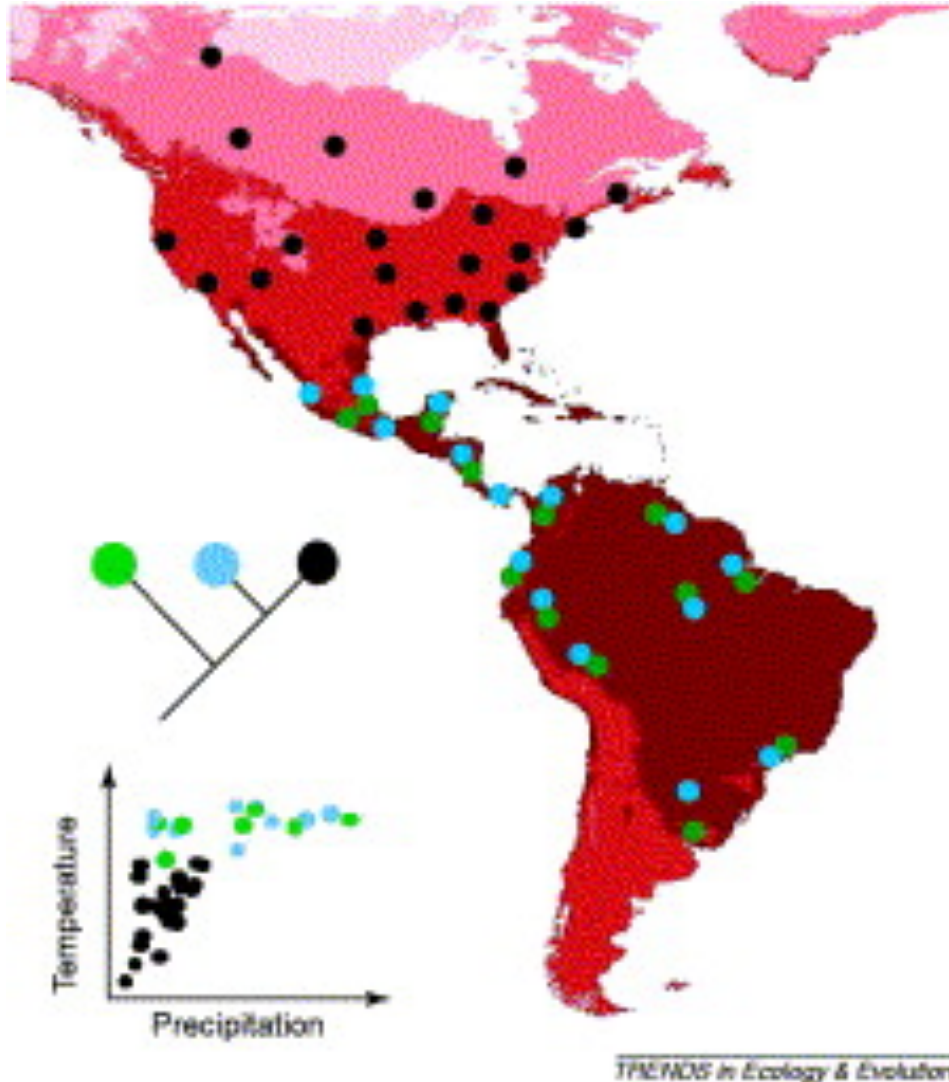


Furcifer verrucosus



Brookesia stumpffi

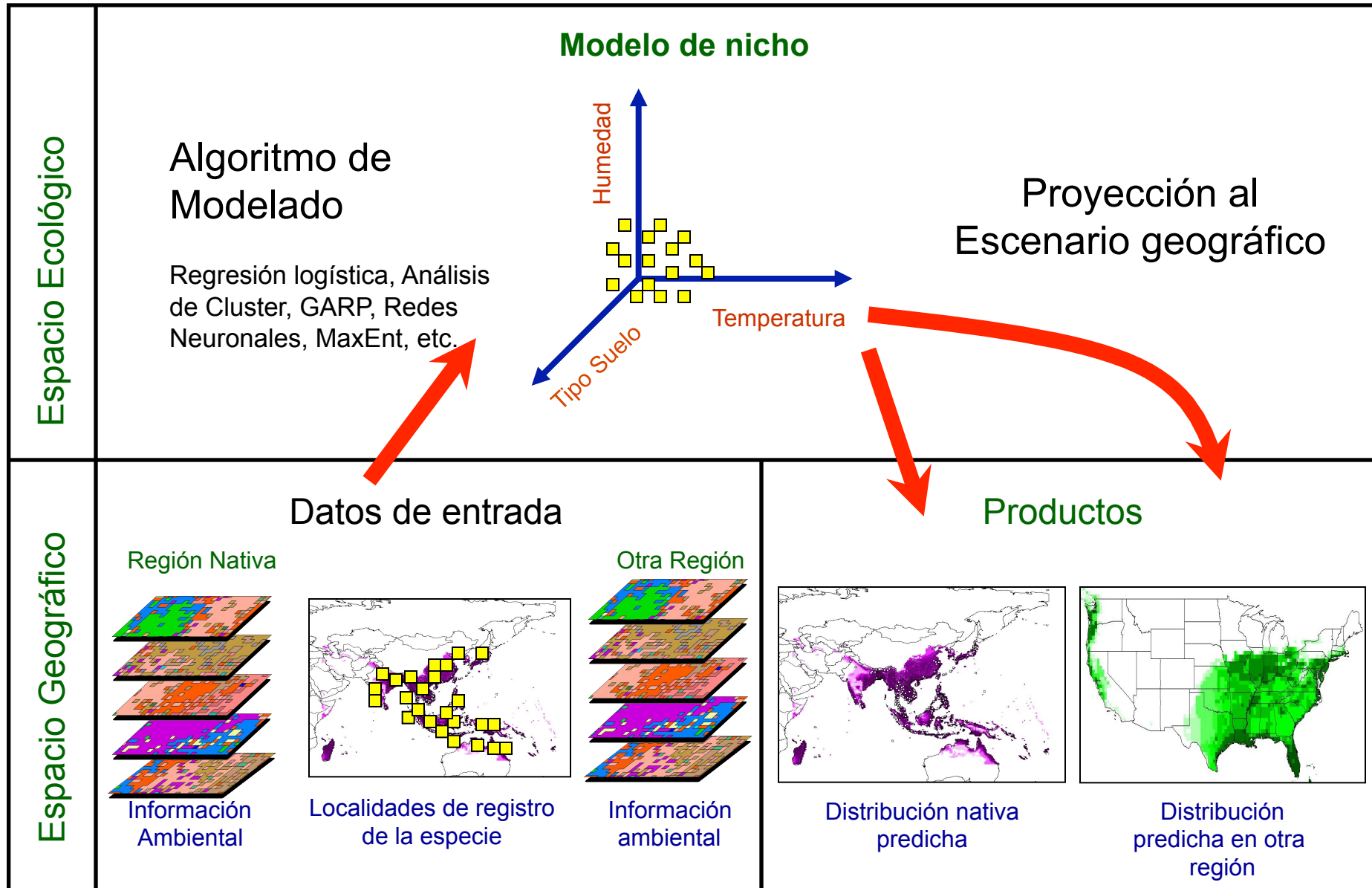
El conservadurismo de nicho es el marco conceptual y el supuesto de trabajo para transferir modelos a escenarios alternativos en tiempo y espacio



El conservadurismo de nicho es la tendencia de las especies a mantener estables en el tiempo caracteres de sus nichos ecológicos cuando se enfrentan a condiciones ambientales nuevas

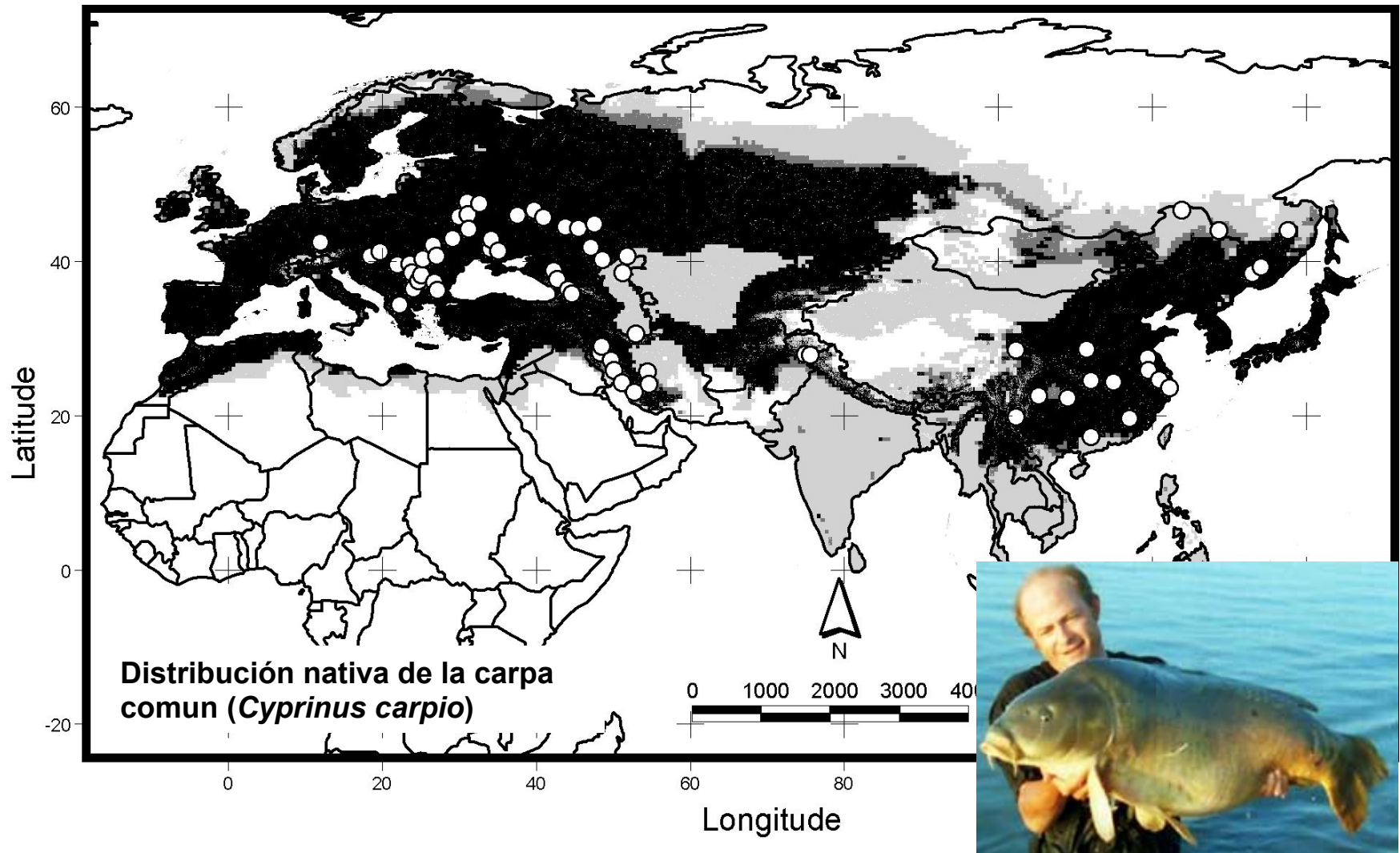
En el contexto del MNE, estos caracteres se refieren a las tolerancias fisiológicas a variables del ambiente que determinan sus distribuciones geográficas

El modelado de nichos ecológicos a través del espacio



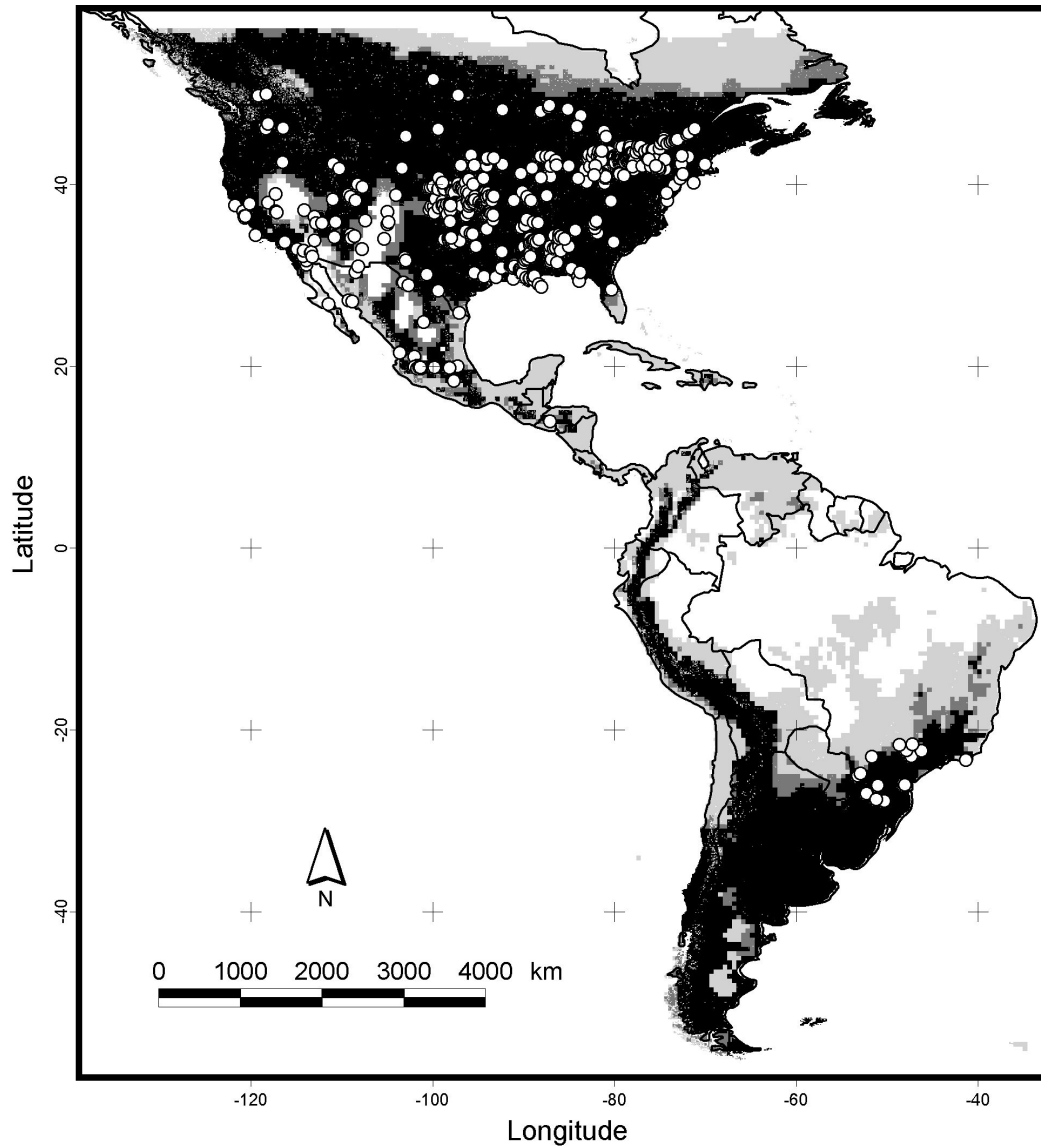
Potencial de invasión de especies exóticas

Zambrano *et al.* 2006. *Canadian J. Fisheries*



Potencial de invasión de especies exóticas

Zambrano *et al.* 2006. *Canadian J. Fisheries*

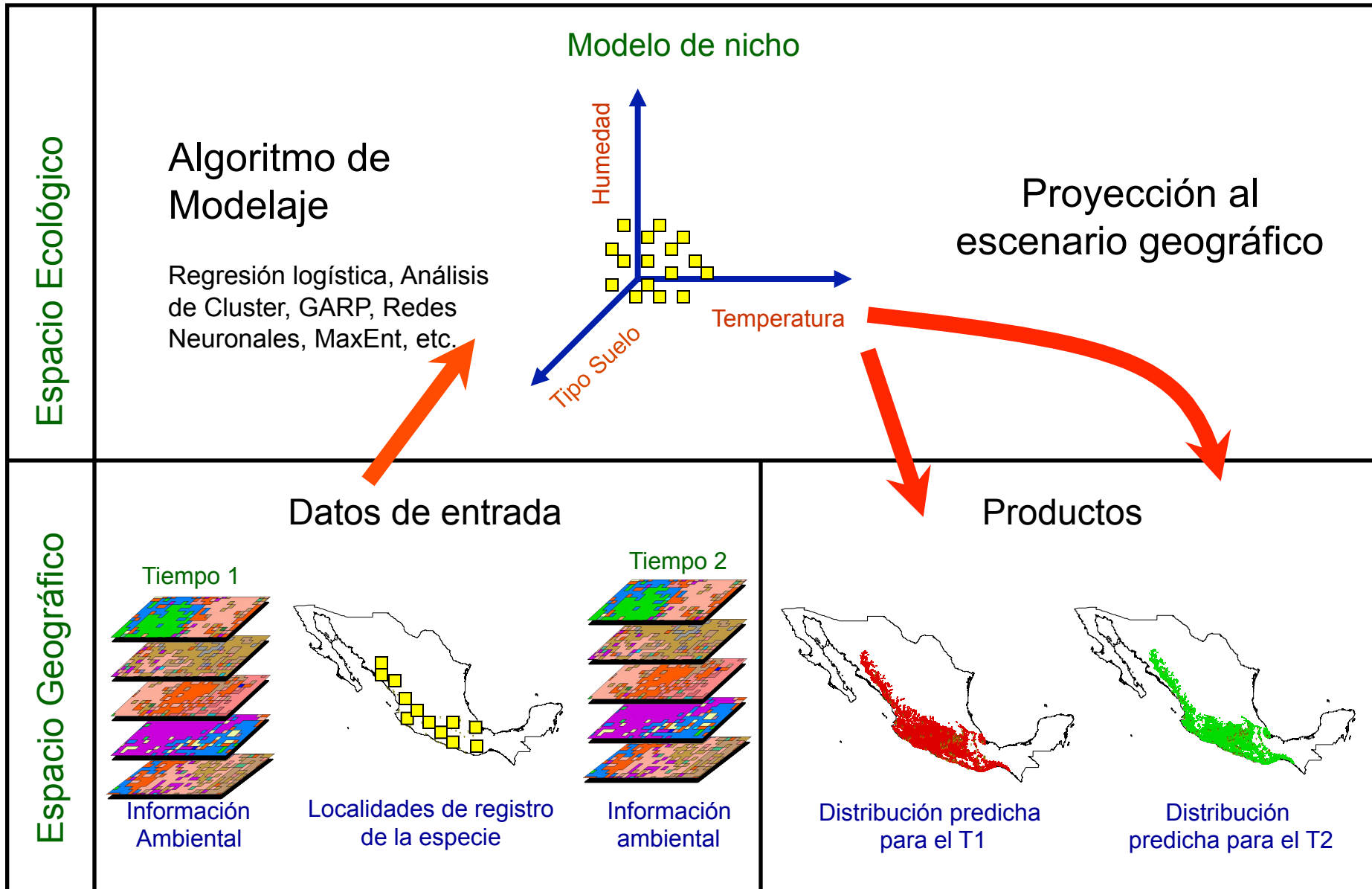


Distribución potencial en América.

Los puntos representan poblaciones establecidas



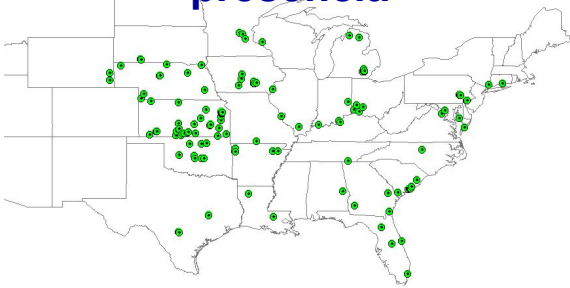
El modelado de nichos ecológicos en el tiempo



¿Cómo han respondido las especies a cambios climáticos anteriores?

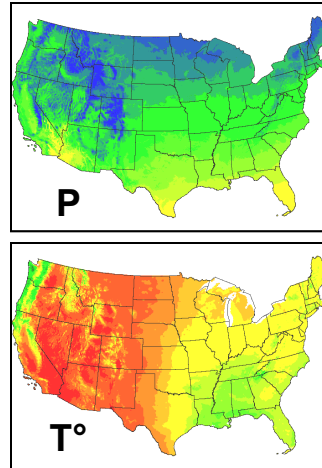
Martínez-Meyer *et al.* 2004. *Global Ecology & Biogeog.*

Localidades de
presencia

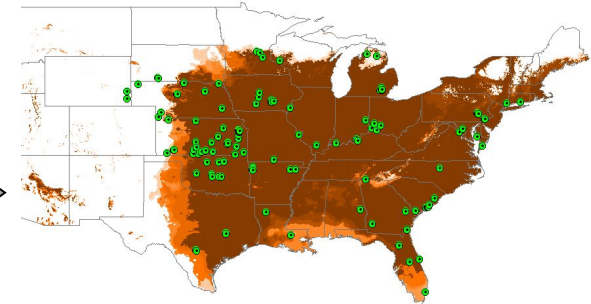


topo (*Scalopus aquaticus*)

+



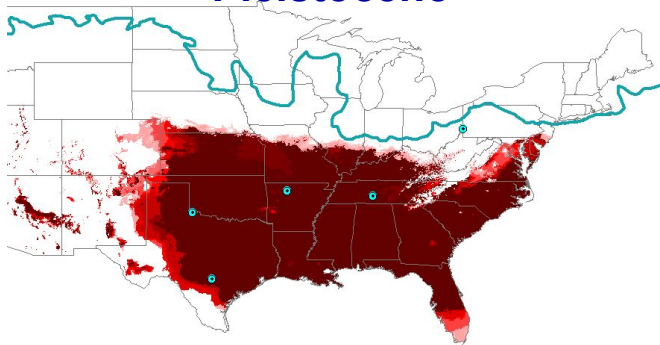
Modelo de nicho



Proyección



Registros fósiles del
Pleistoceno

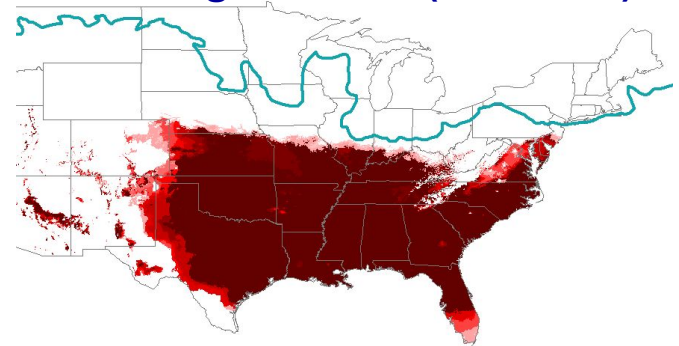


topo (*Scalopus aquaticus*)

Sobreposición

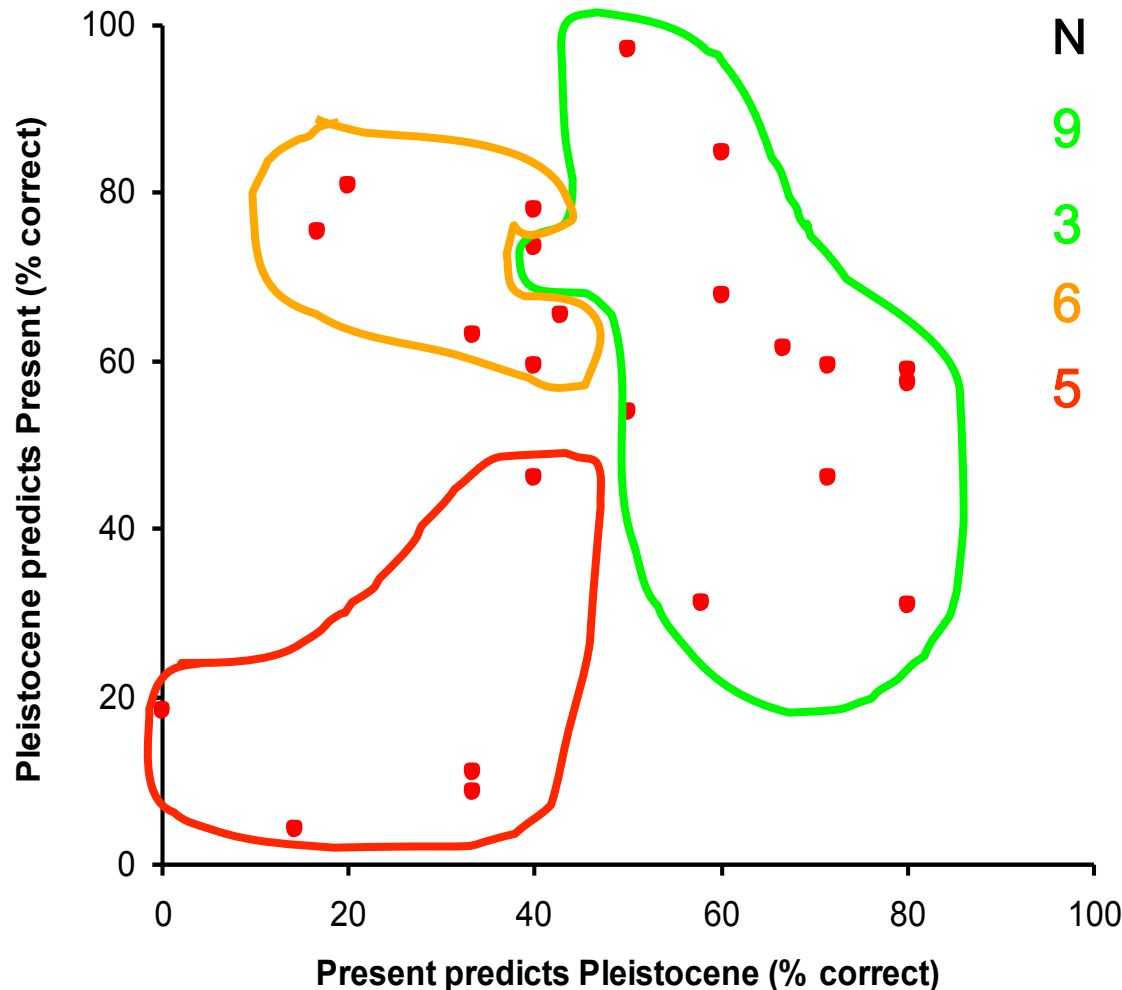


Condiciones ambientales en la
última glaciación (18k años)



Para 23 especies de mamíferos

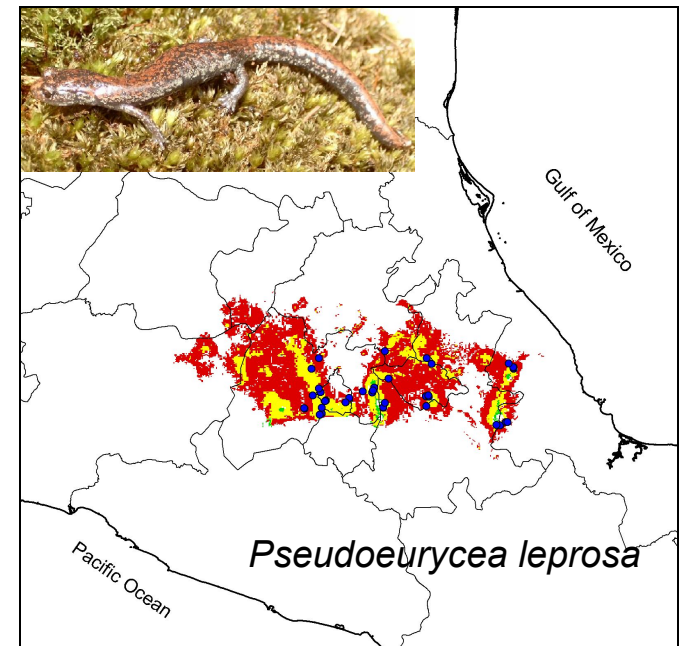
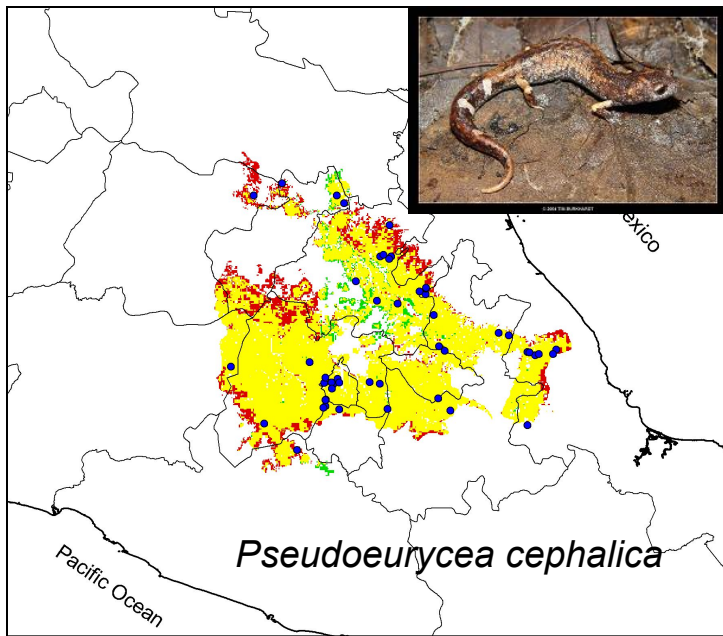
(representando 6 órdenes y 15 familias)



La mayoría de las especies tienden a seguir sus nichos a través del espacio

Efecto del cambio climático en la distribución de 2 salamandras en el centro de México

Parra *et al.* 2005. *Biotropica* 37: 202-208



Especie	Distribucion		Distribucion		
	Historica	predicah al 2050	Se mantiene	Se peirde	Se gana
<i>P. leprosa</i>	27,025 km ²	7,204 km ²	6,861 km ² (25.38%)	20,164 km ² (74.61%)	343 km ² (1.26%)
<i>P. cephalica</i>	44,551 km ²	39,356 km ²	37,794 (84.83%)	6,757 km ² (15.16%)	1,562 km ² (3.50%)

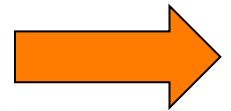
Recapitulando:

El proceso del modelado de nichos

Paso 1

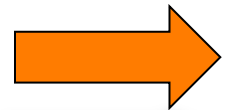
Reunir y procesar datos biológicos:

1. Georreferenciar y dar formato a datos de presencia (y de ausencia cuando existen) de las especies a analizar.
2. Cuando es necesario, manipular los datos para reducir el sesgo del muestreo



Reunir y procesar capas ambientales para generar las variables predictoras:

1. Dar formato adecuado
2. Seleccionar el área de análisis
3. Analizar las capas para identificar problemas de colinealidad y, en su caso, reducir el número de variables



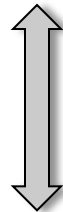
Resumiendo:

El proceso del modelado de nichos

Paso 2

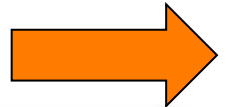


Decidir el tipo de algoritmo de modelación (e.g., GLM, GAM, GARP, MaxEnt, Bioclim, etc.) según el tipo de datos biológicos con los que se cuentan (e.g., sólo presencia, presencia-ausencia)



Calibrar y parametrizar el algoritmo de modelado:

1. Establecer los datos de calibración/validación
2. Establecer los parámetros de modelación
3. Hacer pruebas para determinar la importancia de las variables predictoras



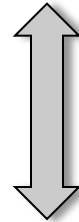
Resumiendo:

El proceso del modelado de nichos

Paso 3



Validar los modelos resultantes mediante la colecta de nuevos datos o mediante una partición *a priori* usando métodos estadísticos (e.g., AUC, Kappa, X^2 , etc.)



Proyección del modelo en espacio geográfico



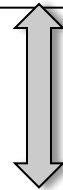
Recapitulando:

El proceso del modelado de nichos

Paso 4



Proyección a otro escenario geográfico (espacial o temporal) y evaluar estadísticamente (si es posible) dicha predicción



Procesamiento *post hoc* para abordar la pregunta inicial, e.g.:

1. Recortar el mapa de distribución potencial para aproximarlos a distribución histórica o actual.
2. Análisis de distribución en espacio ecológico

En resumen

Los MNE son métodos de tipo correlativos, estáticos y no mecanísticos, que funcionan identificando las relaciones que existen entre las condiciones del ambiente y los sitios de presencia de las especies.

Para hacer el mejor uso de los MNE es muy importante conocer su funcionamiento, pero igualmente importante es necesario conocer las limitaciones de las fuentes de datos, algoritmos y del enfoque metodológico en general

A pesar de sus limitaciones, los modelos de nicho son una herramienta útil para generar hipótesis geográficas sobre la distribución presente, pasada y futura de las especies