



Cambio Climático y Distribución de Especies: Pasado y Futuro

Enrique Martínez Meyer

Instituto de Biología
Universidad Nacional Autónoma de México

El clima está cambiando en la Tierra. No hay duda de ello

Récord de deshielo en el Ártico

El hielo marino se redujo a 4,10 millones de km², unos 70.000 km² menos que la superficie mínima anterior en septiembre de 2007



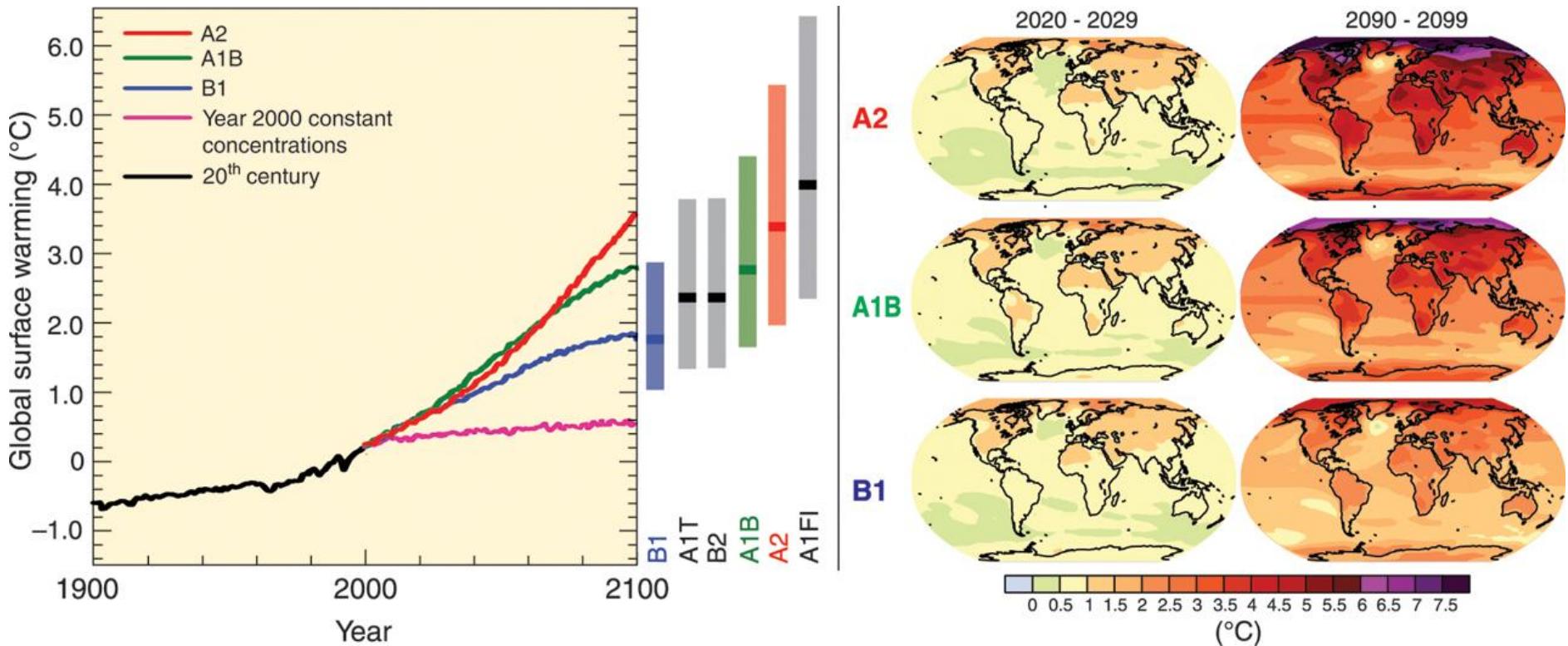
- El deshielo podría aumentar en las próximas semanas

Fuente: NASA/USNSIDC

- En los últimos seis años se registraron las seis disminuciones de hielo más importantes

- El Ártico pierde cada año cerca de 155.000 km² de hielo

Y se espera que esta tendencia continúe en las próximas décadas



Pudiendo aumentar hasta casi $6\ ^{\circ}\text{C}$ hacia el final del siglo XXI

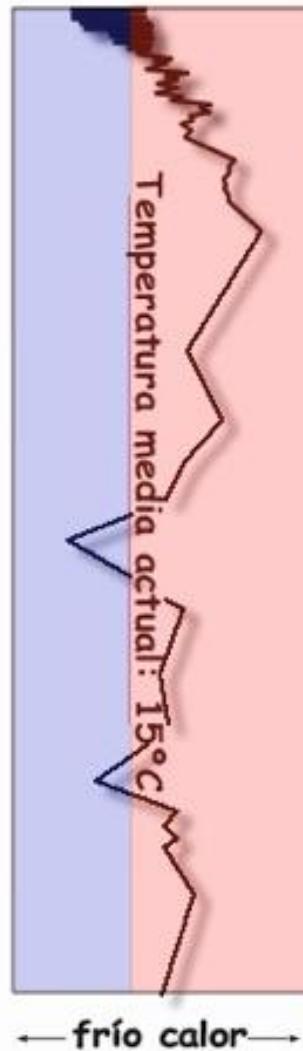
Historia del Clima en la Tierra

Cenozoico



Mesozoico

Paleozoico



El clima ha sido altamente variable a lo largo de la historia de la Tierra.

La temperatura promedio global actual es de casi 15 °C y nos encontramos saliendo de un periodo glacial

La temperatura promedio global ha variado desde los 7 hasta los 27 °C

Causas de los Cambios Clímáticos Anteriores



© 2007 Thomson Higher Education

Particularidades de este evento de calentamiento

Origen – Biótico

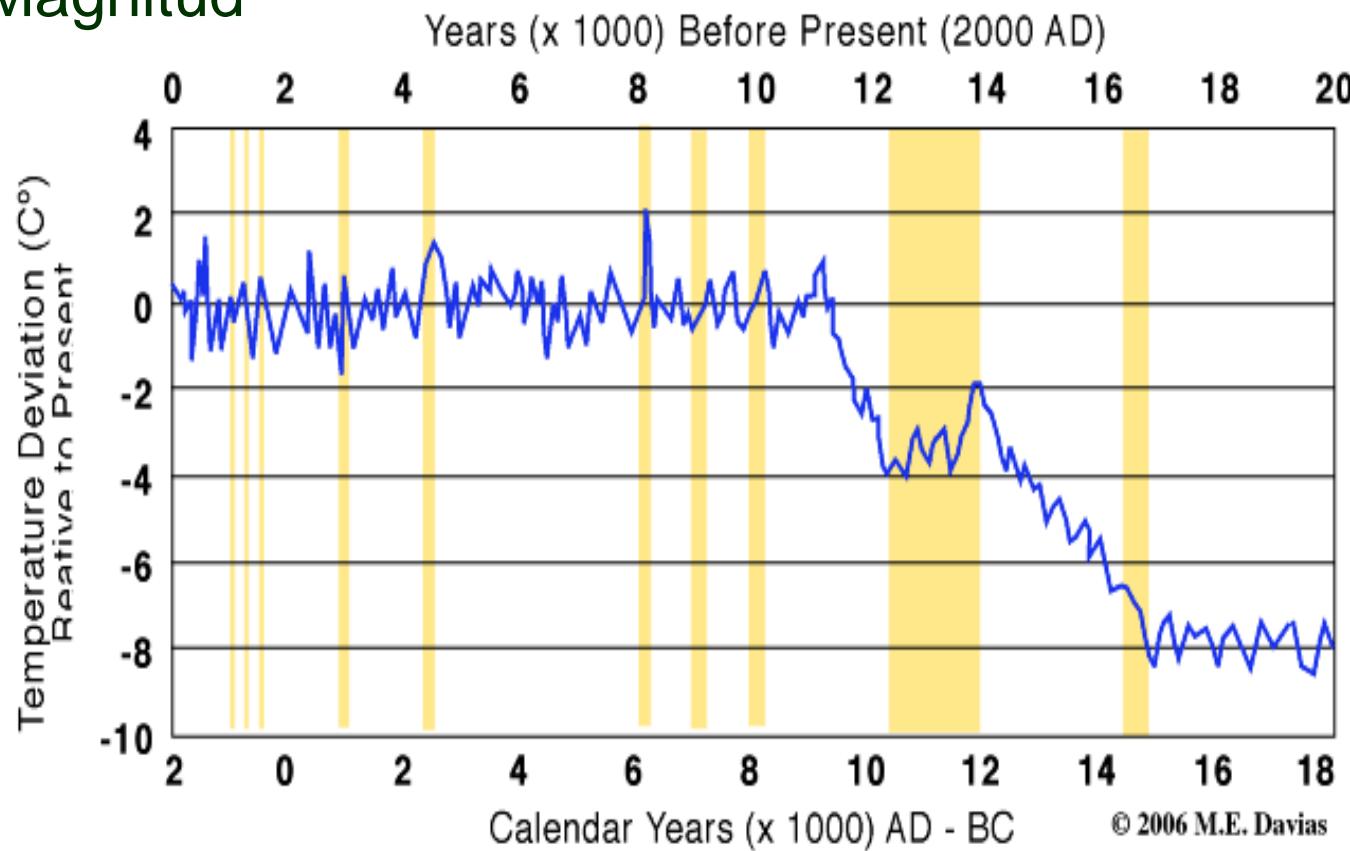


El 97-98% de 1,372 científicos del campo están de acuerdo en que este evento de calentamiento es provocado principalmente por las actividades humanas

Anderegg *et al.* (2010), PNAS

Particularidades de este evento de calentamiento

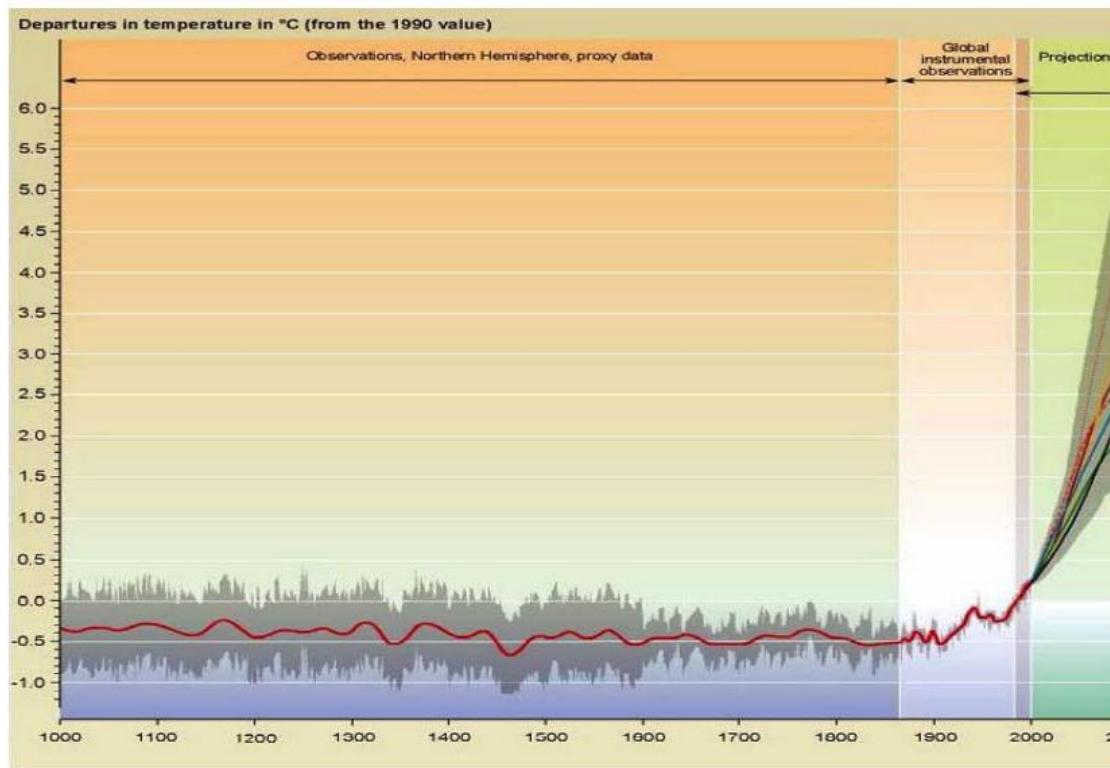
Magnitud



La magnitud del cambio esperado en la temperatura es comparable al ocurrido en la transición del Pleistoceno al Holoceno ($\sim 5^{\circ}\text{C}$), hace unos 12 mil años

Particularidades de este evento de calentamiento

Tasa de Cambio



Sin embargo, la velocidad a la que está aumentando la temperatura ahora es de 10 a 100 veces más acelerada que en los períodos interglaciales anteriores

Particularidades de este evento de calentamiento

Agentes de perturbación

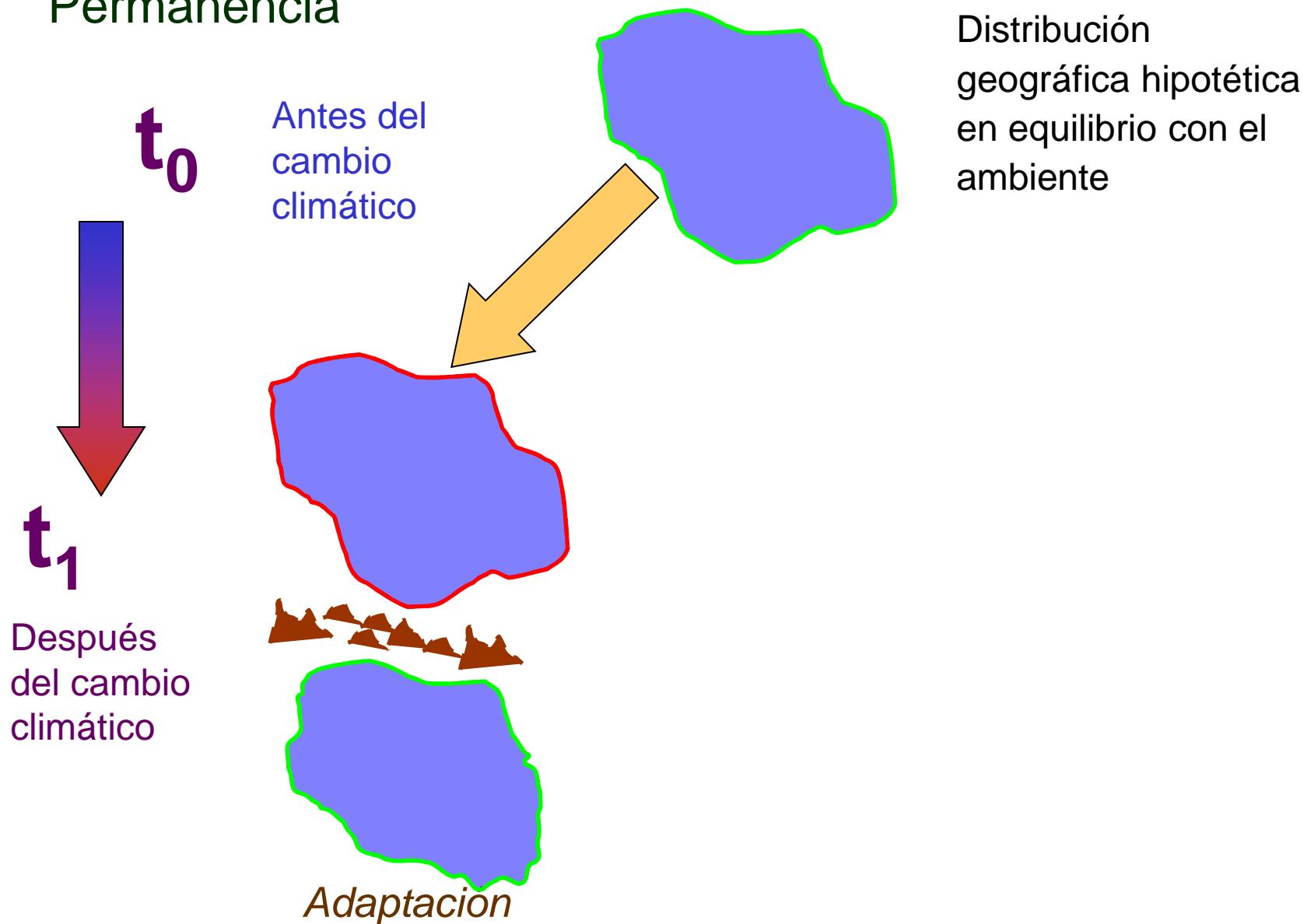


Cambio Climático

Otros factores de perturbación (e.g., pérdida de hábitat, contaminación, sobreexplotación, spp invasoras) actúan en contra de los mecanismos de adaptación de las especies (dispersión, establecimiento) y en sinergia negativa con el cambio climático

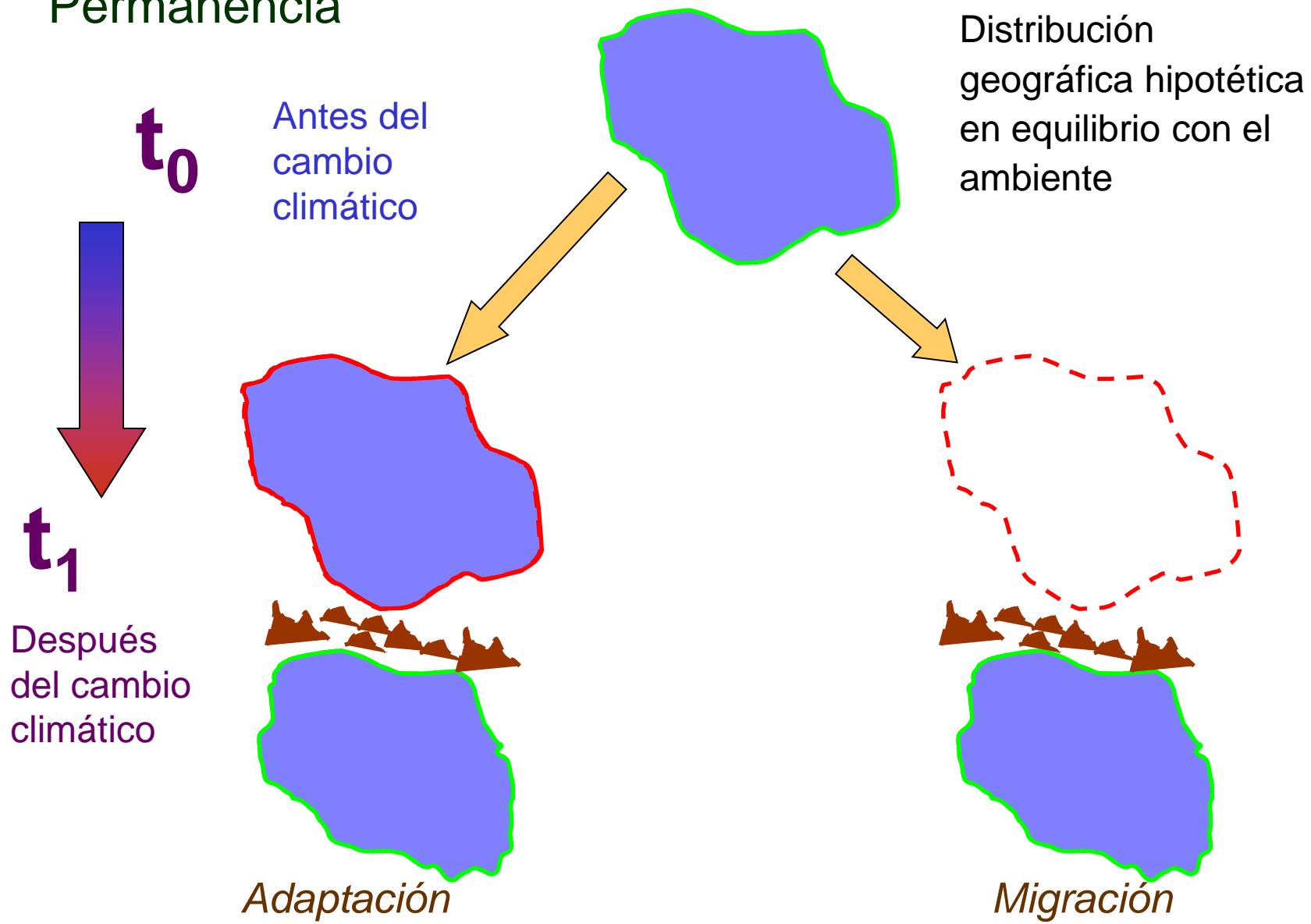
Consecuencias Biológicas del Cambio Climático

Permanencia



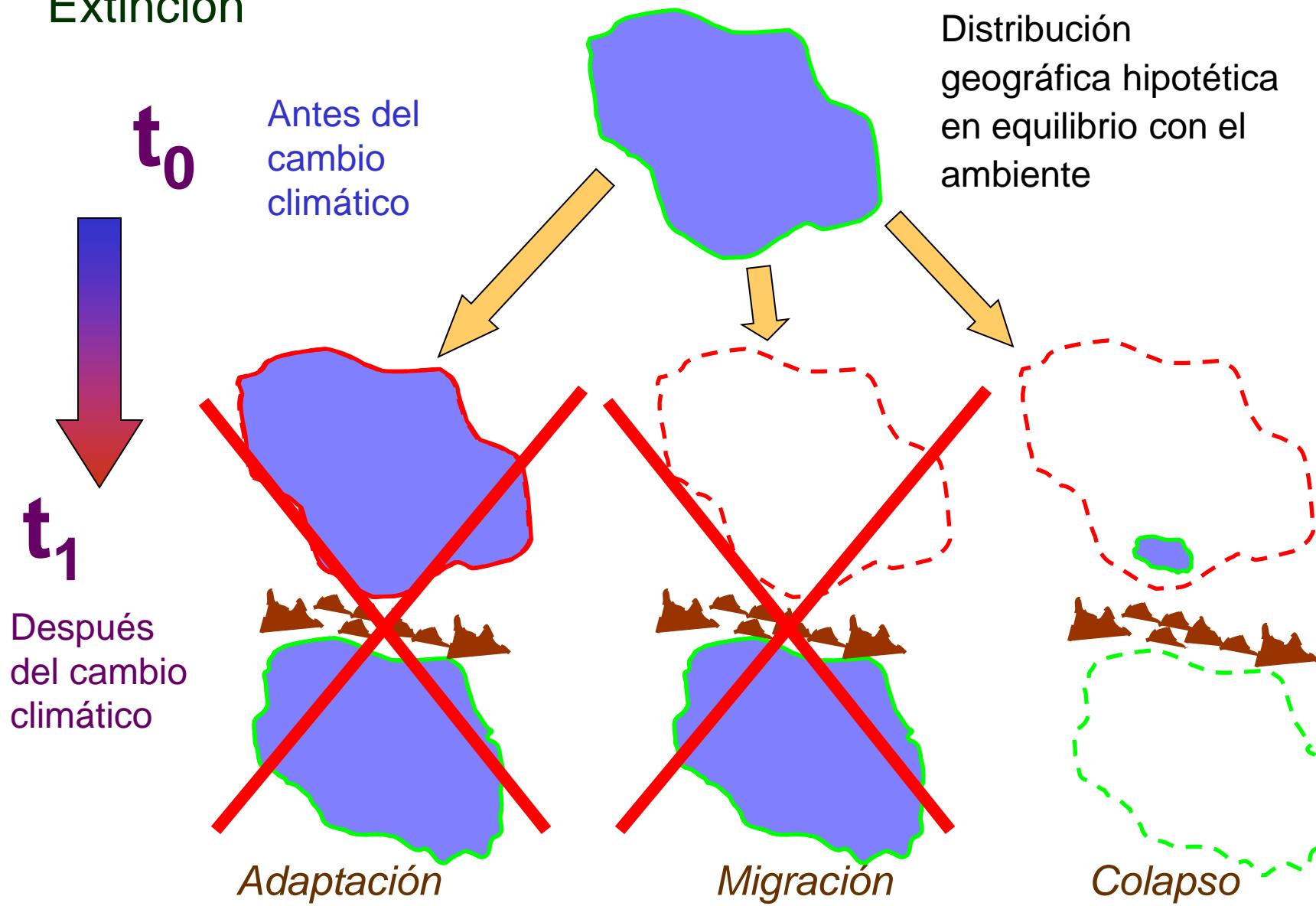
Consecuencias Biológicas del Cambio Climático

Permanencia



Consecuencias Biológicas del Cambio Climático

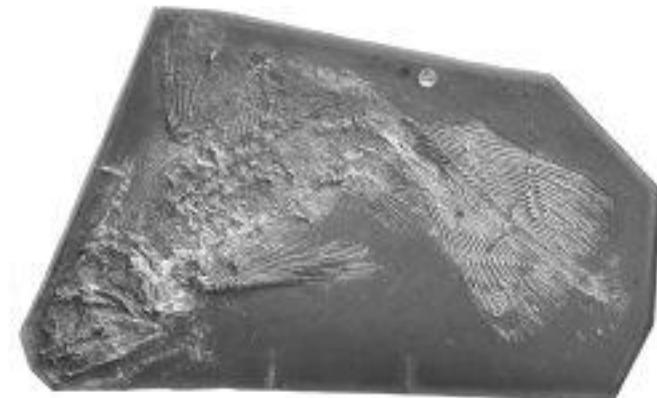
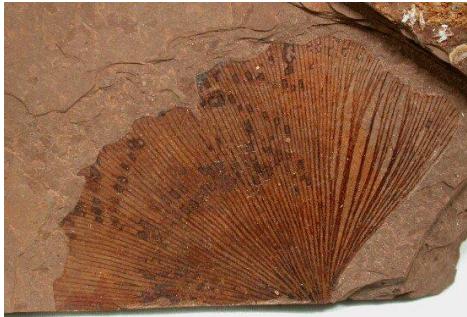
Extinción



Respuestas Bióticas a los Cambios Climáticos

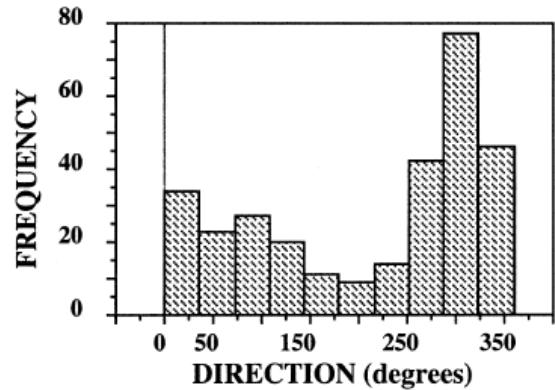
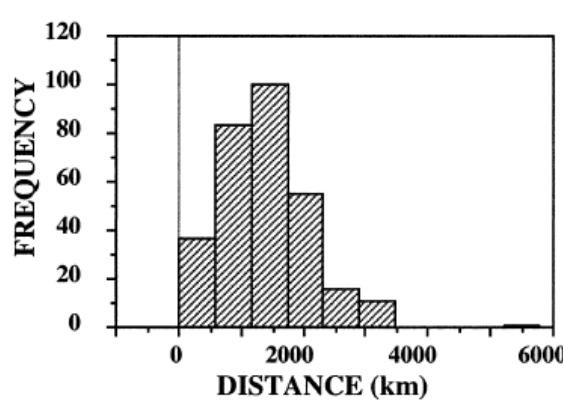
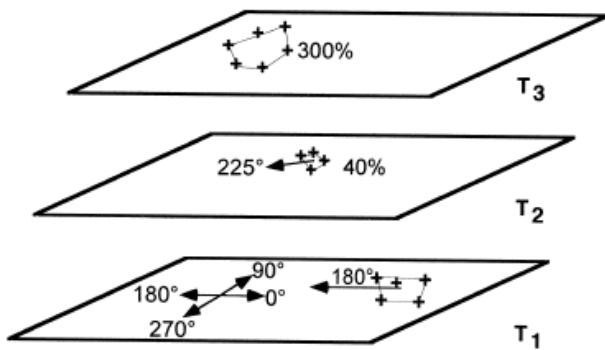
En los cambios climáticos históricos se identifican 4 consecuencias para la biodiversidad:

Permanencia



Respuestas Bióticas a los Cambios Climáticos

Migración



Cambios geográficos en la distribución de 228 especies de mamíferos del Pleistoceno al Presente en Norteamérica (Lyons. 2003. *J. Mammal.* 84: 385-402)

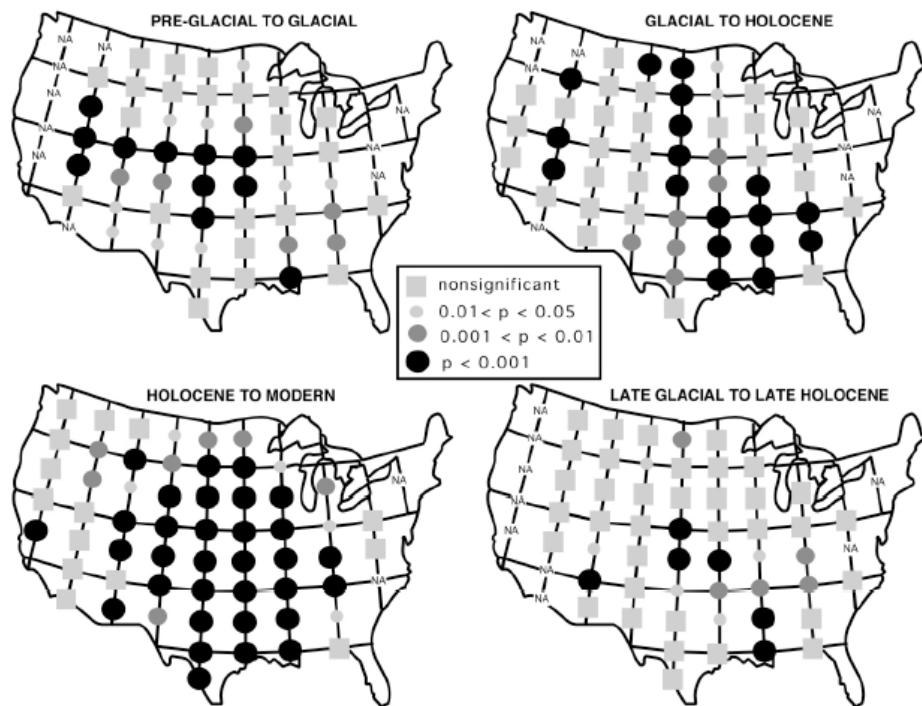
Respuestas Bióticas a los Cambios Climáticos

Extinción



Respuestas Bióticas a los Cambios Climáticos

Reorganización de comunidades



Cambios en la estructura de la comunidad de mamíferos en los Estados Unidos en la transición Pleistoceno-
Presente (Lyons. 2005. *Am Nat.* 165:E169-E185)

¿Y qué está pasando en este evento de calentamiento?

Permanencia mediante diferentes mecanismos adaptativos



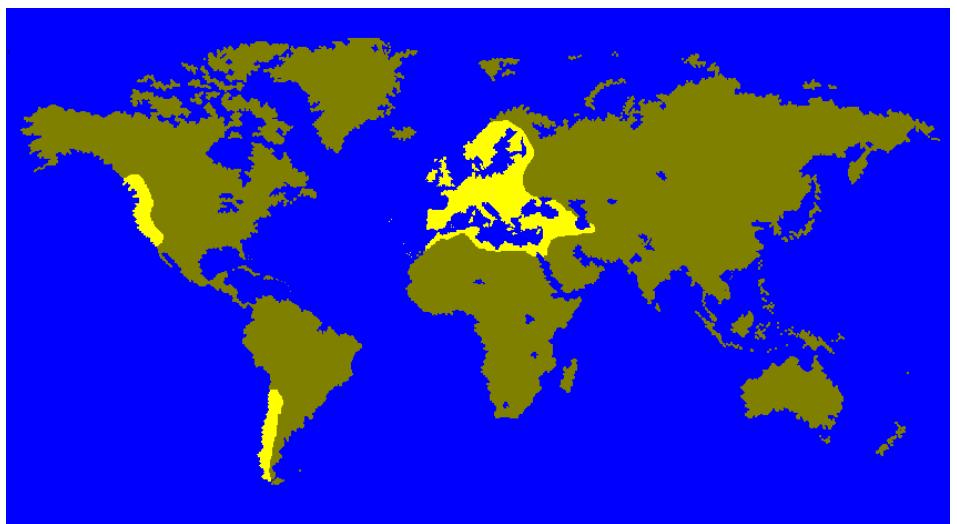
Floración temprana de varias plantas en el hemisferio norte (Myneni et al. 1997. *Nature* 386:698-701)

Oviposición temprana en anfibios (Beebee 1995, *Nature* 374:219-220)

¿Y qué está pasando en este evento de calentamiento?

Permanencia - Adaptación

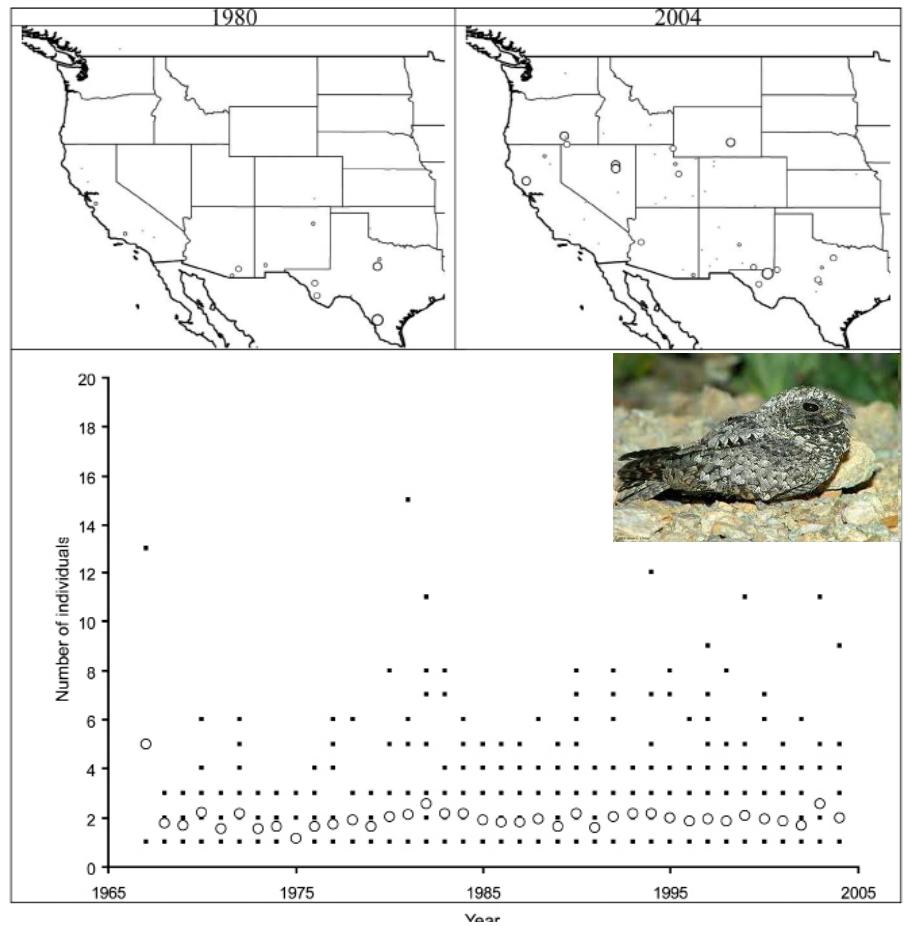
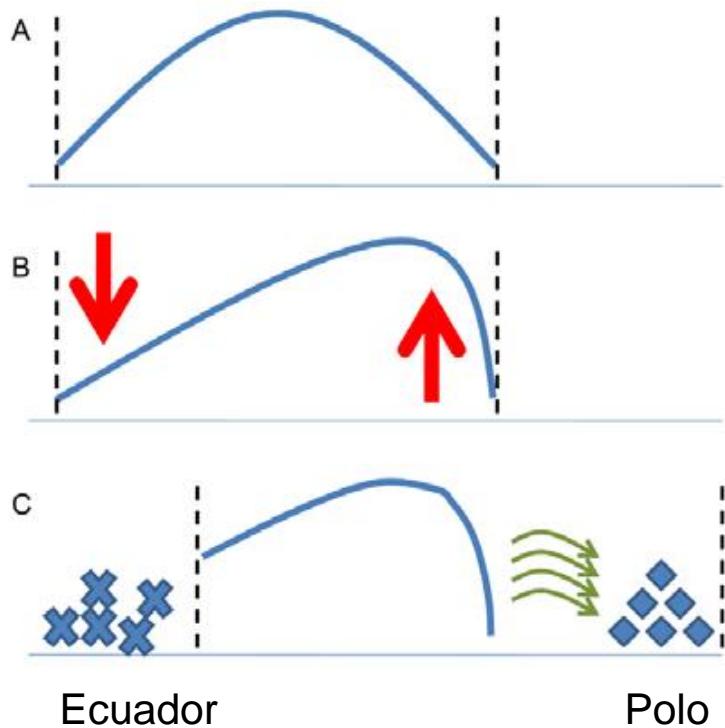
Mecanismos Genéticos



Reducción de la frecuencia alélica asociada a climas fríos en poblaciones de *Drosophila subobscura* (Rodríguez-Trelles & Rodríguez. 1998. *Evol. Ecol.* 12:829-838)

¿Y qué está pasando en este evento de calentamiento?

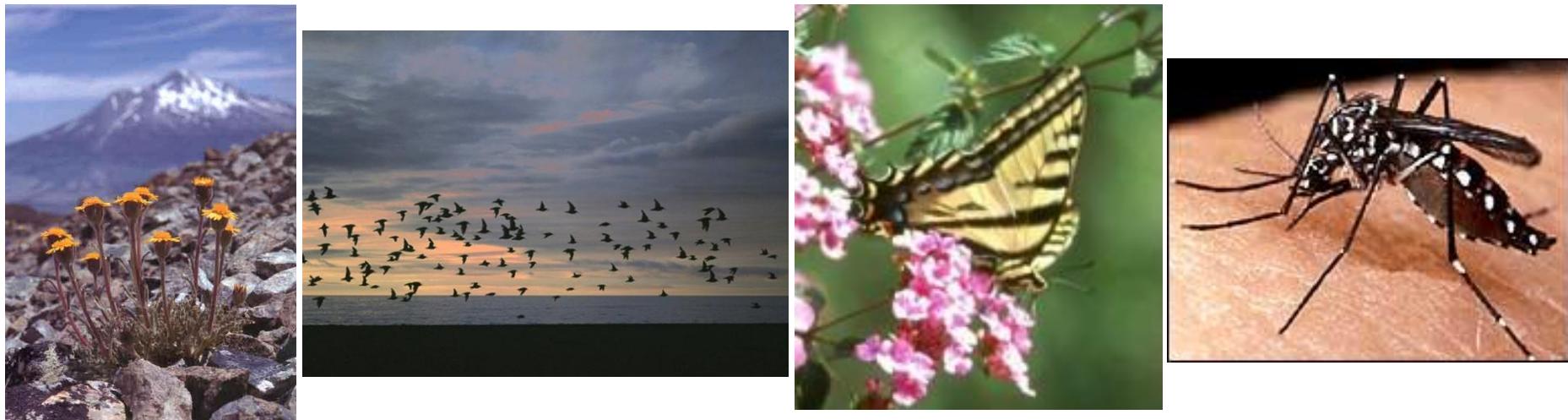
Migración



Cambios latitudinales en los patrones de abundancia del 45% de las aves de Norteamérica (Peterson & Martínez-Meyer. 2008. *Biodiversity* 9:114-116)

¿Y qué está pasando en este evento de calentamiento?

Migración



Vegetación alpina (Grabherr et al. 1994. *Nature* 369:448)

Aves (Peterson & Martínez-Meyer. 2008. *Biodiversity* 9:114-116)

Mariposas (Parmesan 1996 *Nature*. 382:765-766; Parmesan et al. 1999 *Nature* 399:579-583)

Mosquitos (Epstein et al. 1998. *Bull. Am. Met. Soc.* 79:409-417)

¿Y qué está pasando en este evento de calentamiento?

Extinción de Poblaciones y Especies



Extinción del 12% de poblaciones de 48 especies de lagartijas *Sceloporus* en México desde 1975 (Sinervo *et al.* 2010. *Science* 328:894-898)

Extinción del sapo dorado (*Bufo periglenes*) y otras especies de anfibios en Monte Verde, Costa Rica (Pounds *et al.* 1999. *Nature* 398:611-615)

¿Y qué está pasando en este evento de calentamiento?

Reacomodo de Comunidades Bióticas

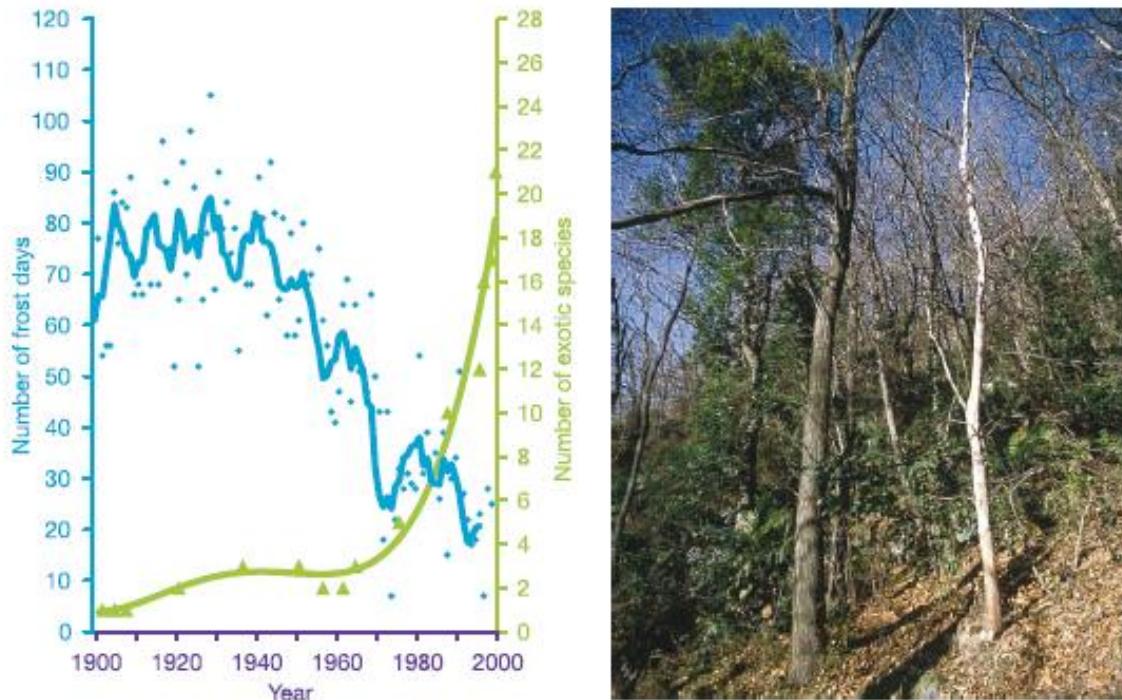


Figure 3 Vegetation shift from indigenous deciduous to exotic evergreen broad-leaved vegetation in southern Switzerland. The shrub layer is dominated by the growing number of spreading exotic evergreen broad-leaved species (see illustration) that

appear to profit from milder winter conditions, indicated here by the decreasing number of days with frost per year (the smoothed curve gives five year averages for the number of frost days per year)²⁹.

Cambios en la composición de especies de plantas en los Alpes Suizos
(Walther et al. 2002. *Nature* 416:389-395)

Y esto ha generado una necesidad de querer predecir el futuro

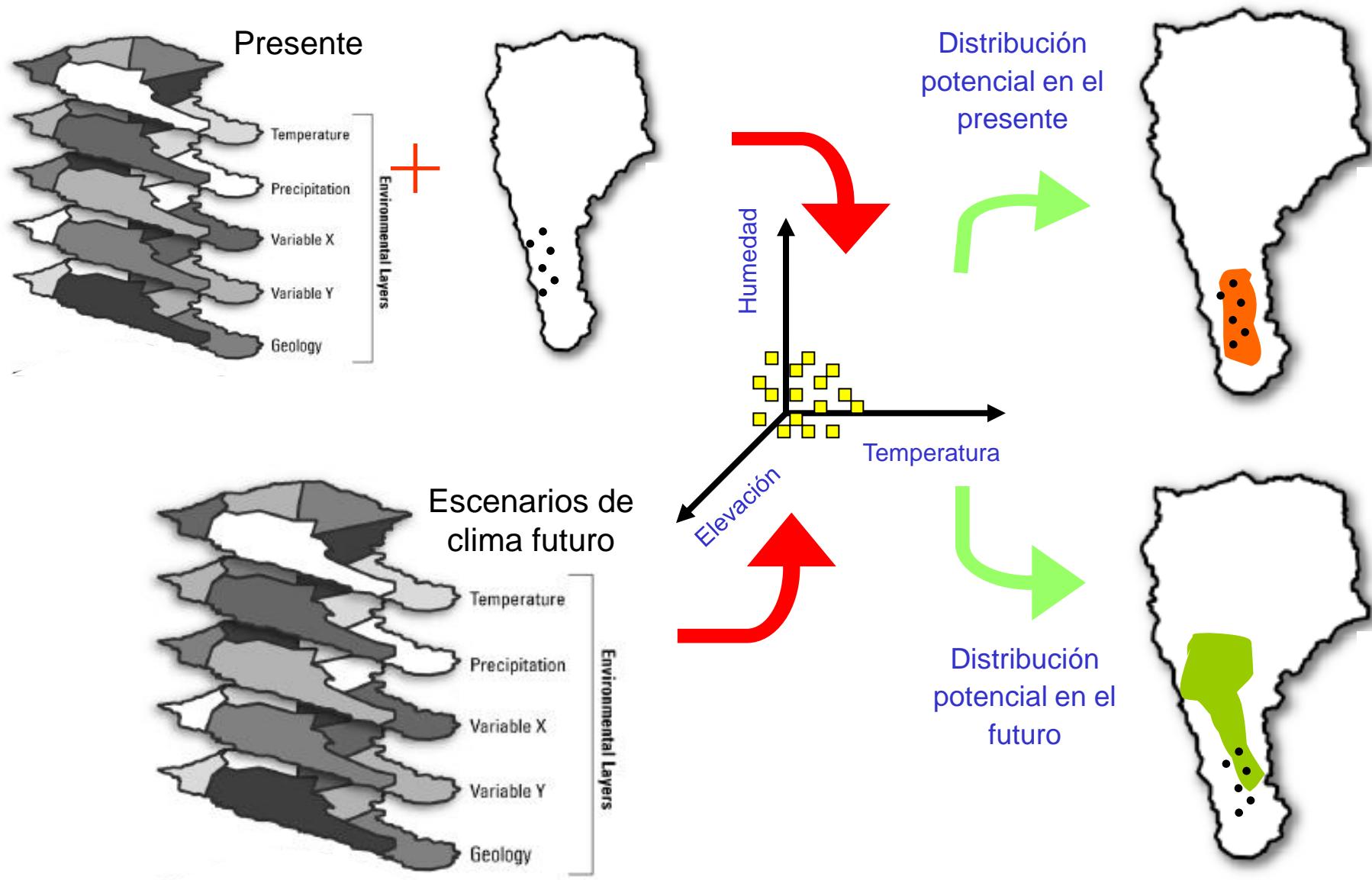
Usando desde los métodos más tradicionales



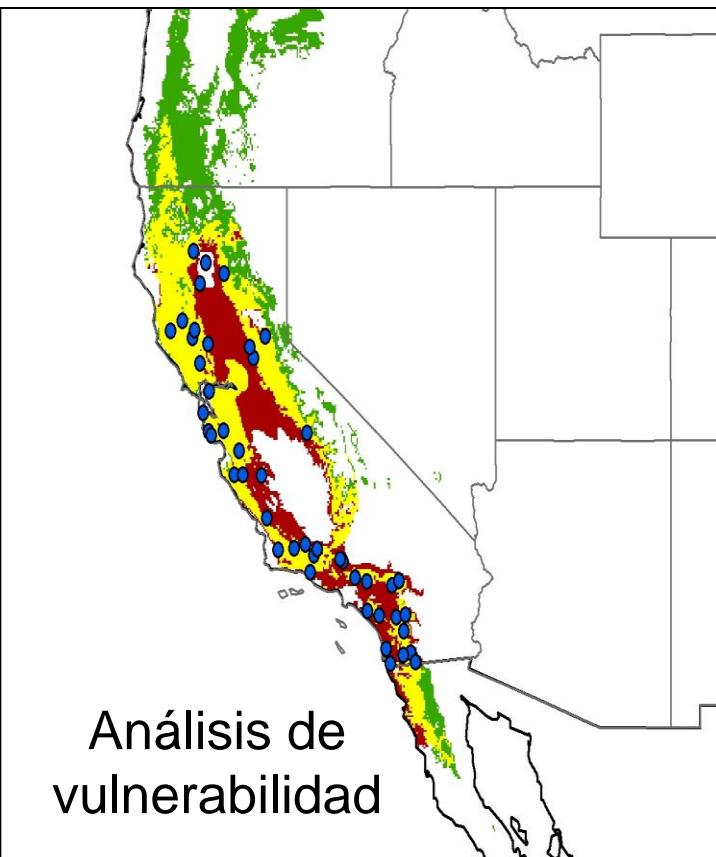
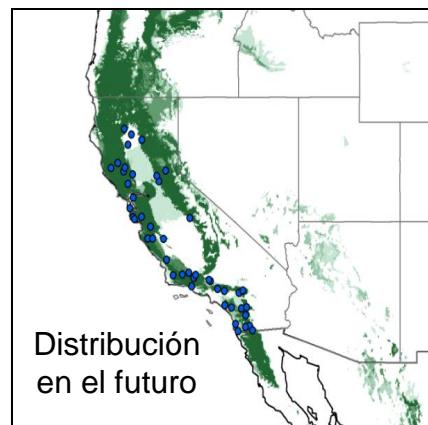
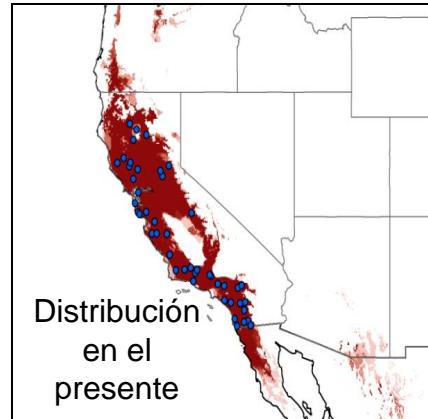
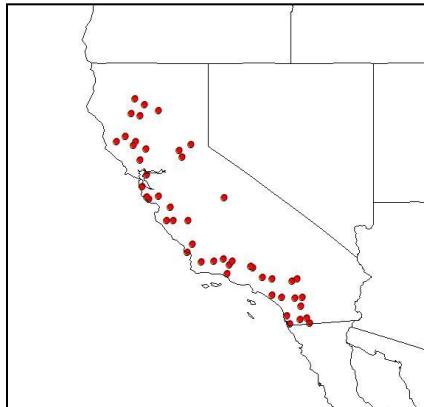
hasta otros más modernos



El MNE se ha convertido en una herramienta muy popular para evaluar los posibles efectos de los cambios climáticos en las especies



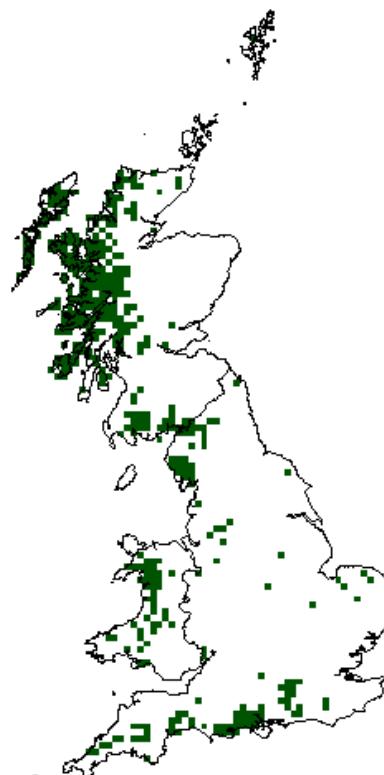
Análisis típico para evaluar cambios en las distribuciones por efecto del cambio climático



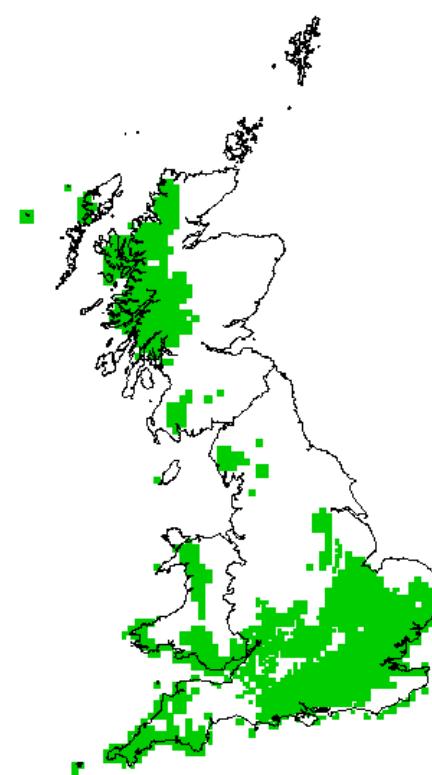
Existen una serie de condiciones necesarias para transferir los modelos de nicho en el tiempo

1. Las variables ambientales usadas son las que determinan la distribución de las especies a la escala de análisis

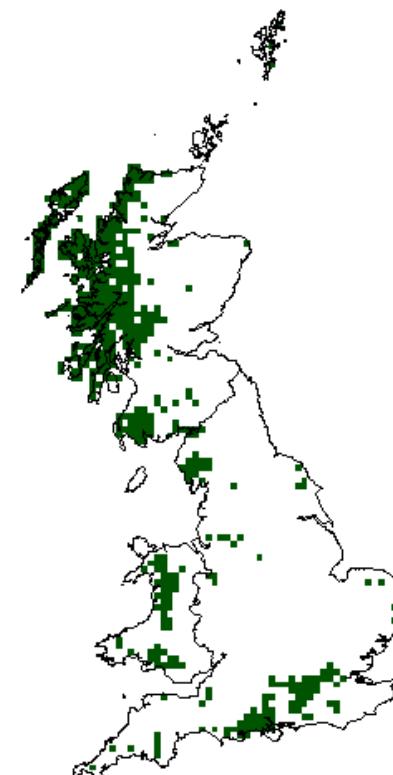
Distribución observada y modelada de *Rhynchospora alba* en Gran Bretaña



Distribución observada



Distribución modelada

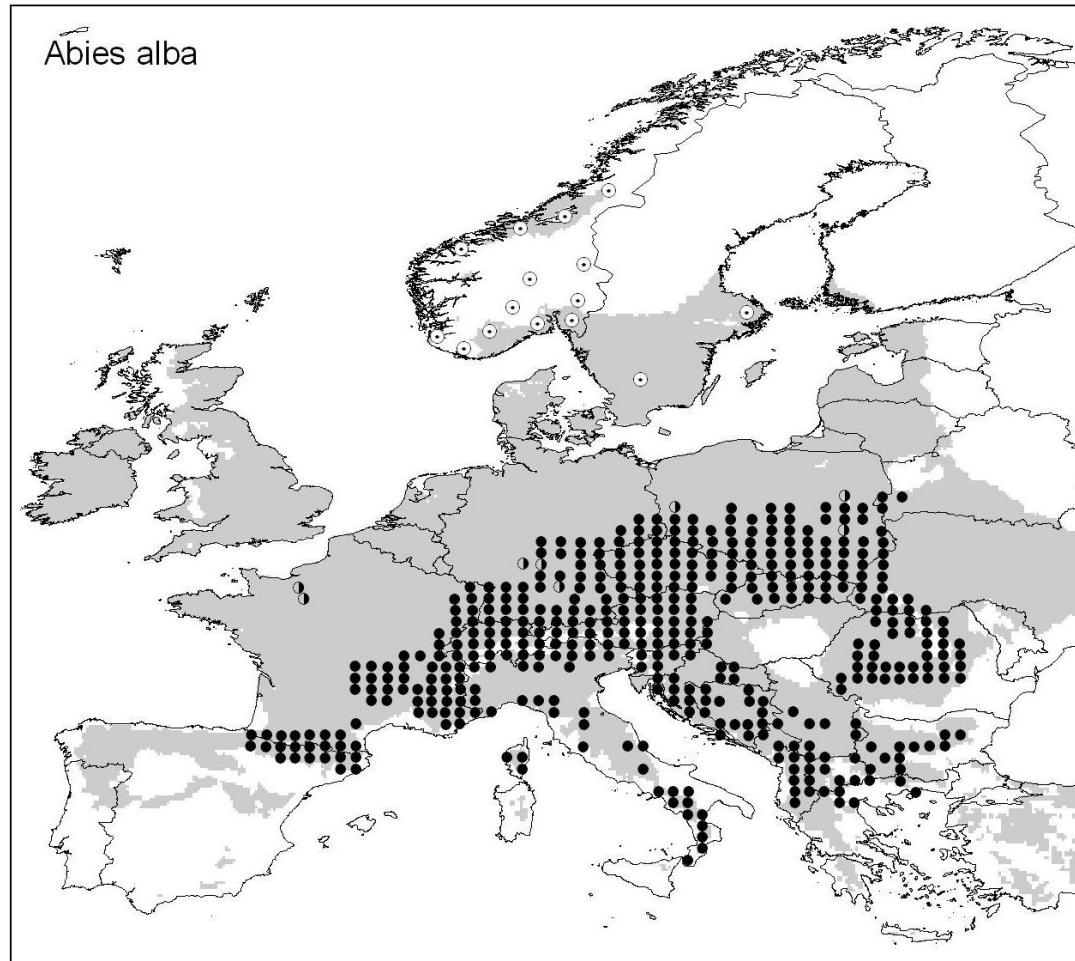


Distribución modelada
incorporando una variable crítica

Fuente: Pearson. 2005. *Ecography*

2. Las especies están en equilibrio con el ambiente

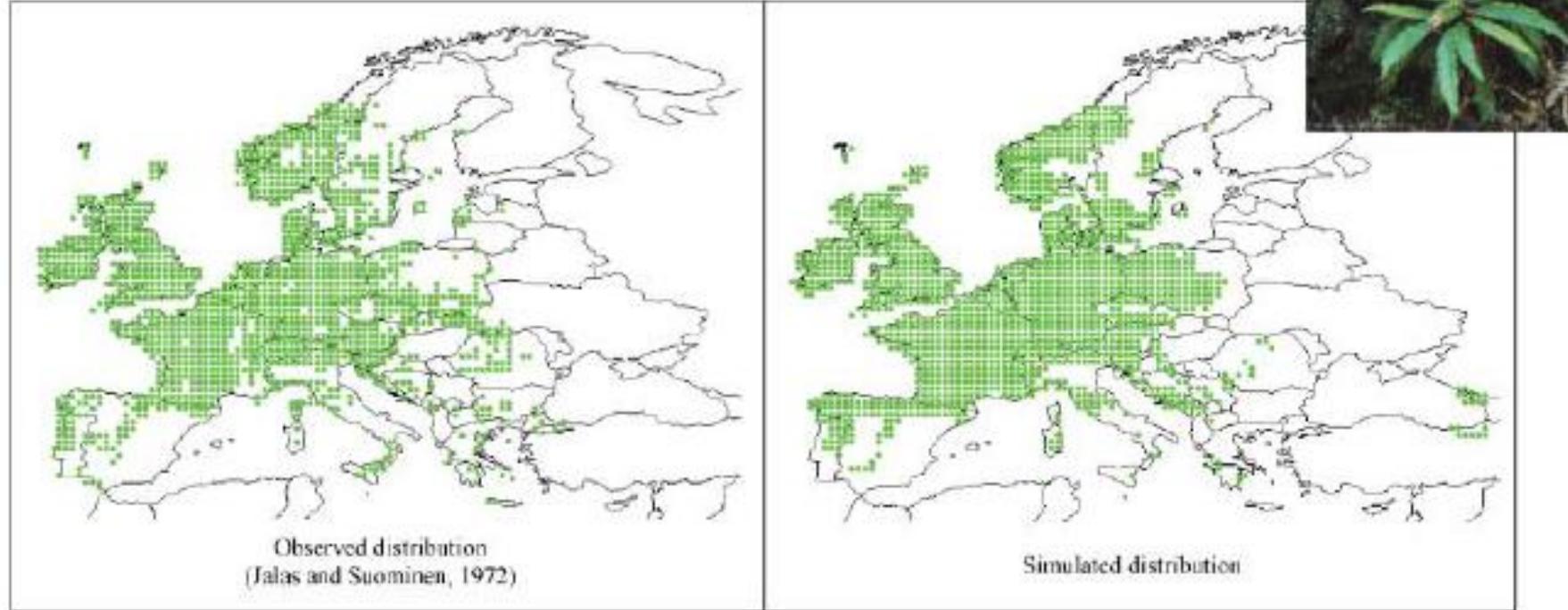
Se refiere al grado en que las especies “llenan” su distribución potencial.
Factores históricos o bióticos pueden limitar este equilibrio



tomado de: Svenning & Skov. 2004. *Ecol. Letters*

Cuando un modelo refleja adecuadamente la distribución conocida es indicio que las variables utilizadas son adecuadas y que la especie está en equilibrio con el ambiente

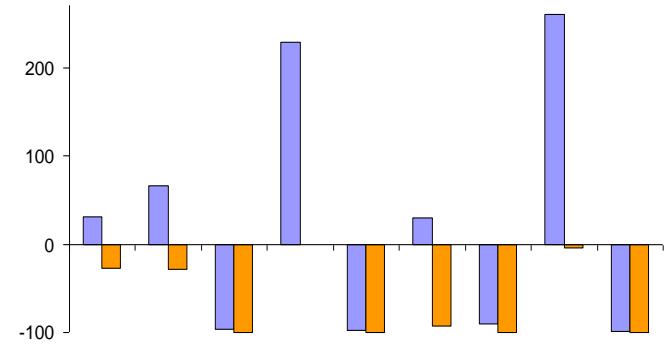
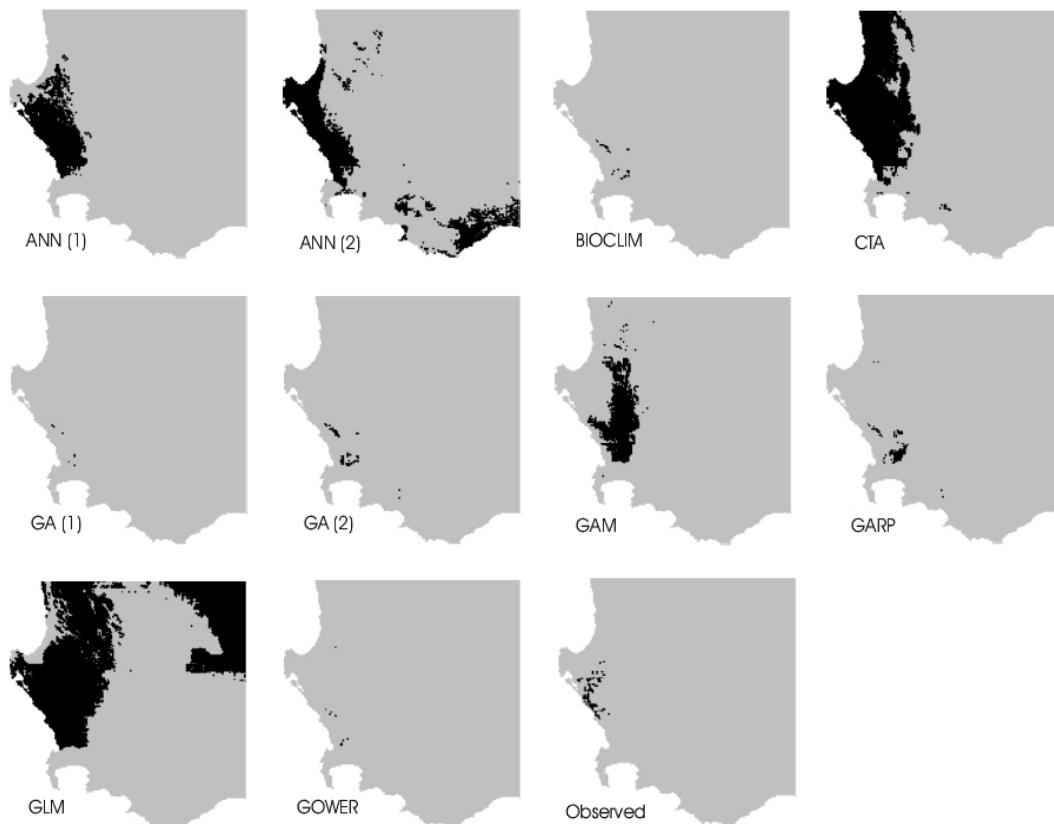
Distribución observada y modelada de *Blechnum spicant* en Europa



Fuente: Pearson & Dawson. 2003. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 12: 361-371

Incertidumbre por los métodos de análisis

C. Leucosperma tomentosum

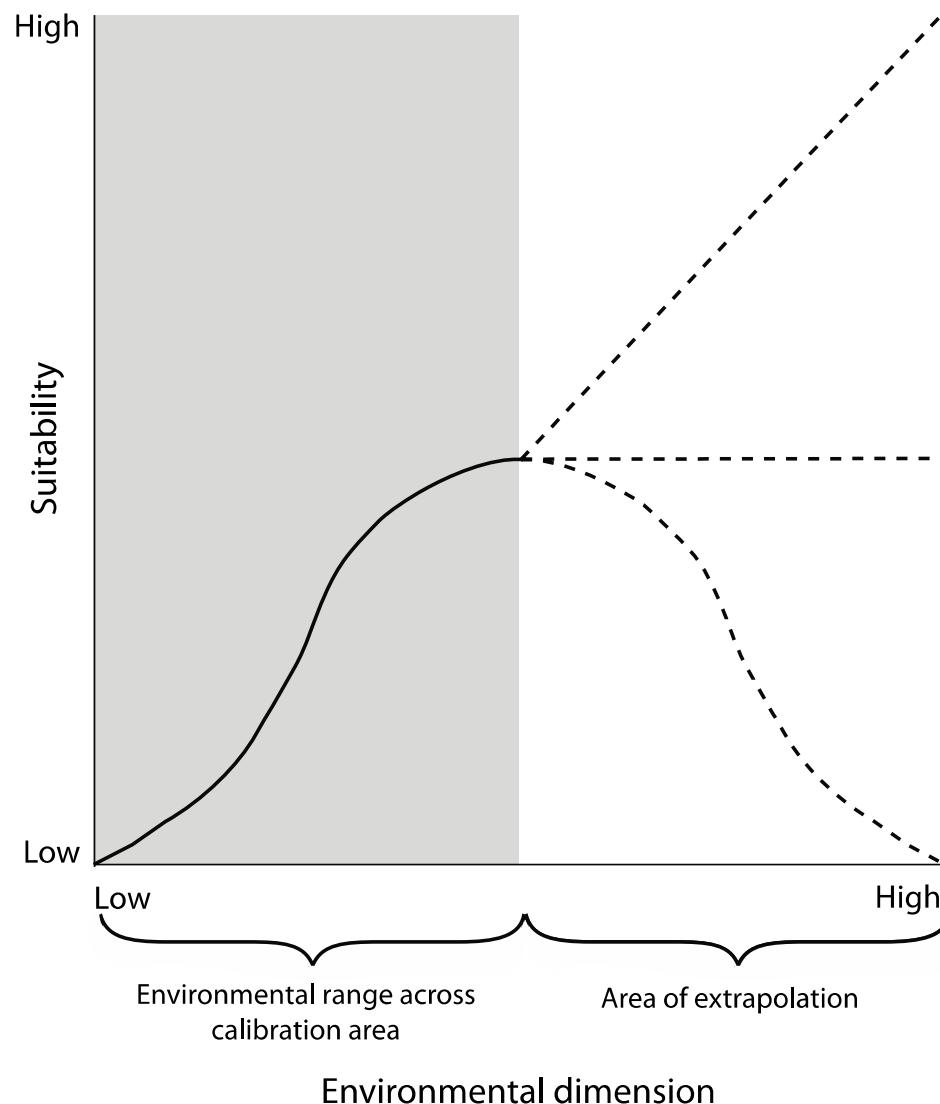


1. ANN1 (SPECIES)
2. ANN2 (PLUS)
3. BIOCLIM
4. CTA
5. GA
6. GAM
7. GARP
8. GLM
9. DOMAIN

Existe una alta inestabilidad en los métodos de análisis

(Pearson et al. 2006. *J. Biogeo.* 33:1704-1711)

El comportamiento de los métodos de modelación en climas no análogos



¿Qué hacer para reducir la incertidumbre?

Utilizar información histórica

Probar los métodos de modelado del pasado reciente al presente para contar con datos empíricos que permitan validar los modelos

Desarrollo de superficies climáticas para México en alta resolución: Representando el siglo XX e inicio del siglo XI.

Angela CUERVO-ROBAYO^a, Oswaldo TELLEZ-VALDÉS^b, Cristian VENEGAS-BARRERA^c, Miguel GÓMEZ ALBORES, Enrique MARTÍNEZ-MEYER^d, Javier MANJARREZ^e

- ^a Laboratorio de biología evolutiva, CIRB, Facultad de Ciencias, UAEMex. Email: acuervo@gmail.com; julin@uamex.mx
- ^b Laboratorio de Recursos Naturales, UBRIP, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM. Email: tellez@servidor.unam.mx
- ^c Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica, UCA, Universidad de la Sierra Juárez. Email: sadiel@uppa.unsj.edu.mx
- ^d Laboratorio de análisis espaciales, Instituto de Biología, UNAM. Email: emm@cbunam2.biologia.unam.mx
- ^e Laboratorio de hidrogeometría, CRIA, Facultad de Ingeniería, UAEMex. Email: magomeza@uamex.mx

INTRODUCCIÓN

Las superficies climáticas han demostrado ser muy útiles para comprender el efecto de la variación del clima en diversos aspectos del ambiente, como, la distribución de plantas y animales (Venegas-Barrera & Manjarréz 2011, Martínez-Meyer et al. 2004), de vectores de enfermedades (Peterson et al. 2002, Larson et al. 2010), y la productividad de plantaciones forestales o cultivos agrícolas (Wang 1994, Goets et al. 2008). También han sido útiles para evaluar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos (Yatagai et al. 2008), la agricultura y la biodiversidad (Téllez-Valdés et al. 2006, Téllez-Valdés et al. 2007).

Especificamente para México, se han desarrollado dos tipos de superficies climáticas (Sáenz-Romero et al. 2009, Téllez-Valdés et al. 2011) y un tercero más, como parte del modelo global generado por Hijmans et al. (2005). Se estima que la temperatura promedio del planeta ha aumentado significativamente desde 1977 (Rahmstorf et al. 2007), por lo que se ha recomendado actualizar las superficies climáticas de los diferentes países, y así apoyar los procesos de conservación biológica y seguridad ambiental (Kriticos et al. 2011). El presente trabajo cubre un lapso de registro climatológico entre 1910-2009, el cual puede ser considerado como la actualización de las superficies climáticas.

Estas superficies climáticas actualizadas fueron interpoladas, al igual que las tres climatologías referidas anteriormente, con el método de interpolación ANUSPLIN versión 4.3 (Hutchinson, 2006), el cual ha demostrado tener mejor desempeño en comparación con otros (Price et al. 2000). Igualmente se utilizó una resolución espacial de 1 km², y un mayor número de estaciones meteorológicas en comparación con algunas de las otras climatologías ya referidas.

MÉTODOS

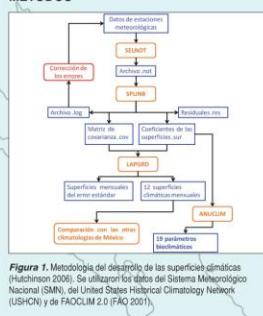


Figura 1. Metodología del desarrollo de las superficies climáticas (Hutchinson, 2006). Se utilizaron los datos del Sistema Meteorológico Nacional (SMN), del United States Historical Climatology Network (USHCN) y de FAOCLM 2.0 (FAO 2001).

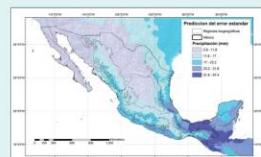


Figura 4. Ejemplo de la predicción del error estándar de las superficies de precipitación del mes de octubre.

Cuadro 2

Parámetros bioclimáticos creados con el módulo de Bioclim del software ANUCLIM.

Id	Variable
Bio 1	Temperatura promedio anual
Bio 2	Intervalo promedio diurno
Bio 3	Isotermalidad
Bio 4	Temperatura estival
Bio 5	Temperatura max. del mes más cálido
Bio 6	Temperatura min. del mes más frío
Bio 7	Intervalo de la temperatura anual
Bio 8	Temperatura promedio del trimestre más cálido
Bio 9	Temperatura promedio del trimestre más frío
Bio 10	Temperatura promedio del trimestre más seco
Bio 11	Temperatura promedio del trimestre más húmedo
Bio 12	Precipitación anual
Bio 13	Precipitación del mes más húmedo
Bio 14	Precipitación del mes más seco
Bio 15	Precipitación estacional
Bio 16	Precipitación del trimestre más húmedo
Bio 17	Precipitación del trimestre más seco
Bio 18	Precipitación del trimestre más cálido
Bio 19	Precipitación del trimestre más frío

Cuadro 1

Climatologías disponibles para México en las que se muestran el número de estaciones con que fueron construidas, el periodo temporal de cobertura y métricas de calidad: RTGV, raíz cuadrada del error estándar; RTMSE, raíz cuadrada del error estándar; *: número de estaciones utilizadas para todo el mundo; ND: no disponible.

Autor	Número de estaciones	Período	RTGCV	RTMSE
Hijmans et al. 2006	47554 precipitación 14930 temperatura*	1950-2000	ND	ND
Sáenz-Romero et al. 2009	36011 precipitación 3702 temperatura máxima 3703 temperatura mínima	1961-1990	7.31-33.1 5.10%	0.50-0.75° C 1.40-1.69
Téllez-Valdés et al. 2011	6216 precipitación 4320 temperatura máxima 3700 temperatura mínima	1898-1995	9.9-36.7 8.8-11.3%	0.49-0.53° C 1.26-1.81 1.06-1.32

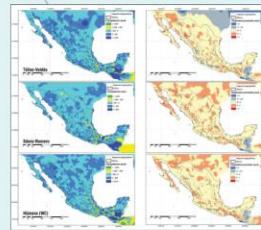


Figura 5. Diferencias entre la precipitación anual (mm) y la temperatura promedio anual (°C) de la climatología actual y las otras propuestas que existen para México (ej. ACTUAL – WC).

CONCLUSIONES

En conclusión, mientras que hemos hecho progresos significativos, se requieren esfuerzos adicionales para compilar y capturar datos climáticos para mejorar la cobertura espacial y temporal de los datos climáticos disponibles y control de calidad. La evaluación de las fuentes y la cantidad de incertidumbre y comparaciones entre conjuntos de datos, como se hizo en este estudio, proporcionan tanto información sobre la distribución geográfica de la incertidumbre, como un punto de partida para mejorar las superficies en aquellas áreas donde se puede afectar más los resultados.

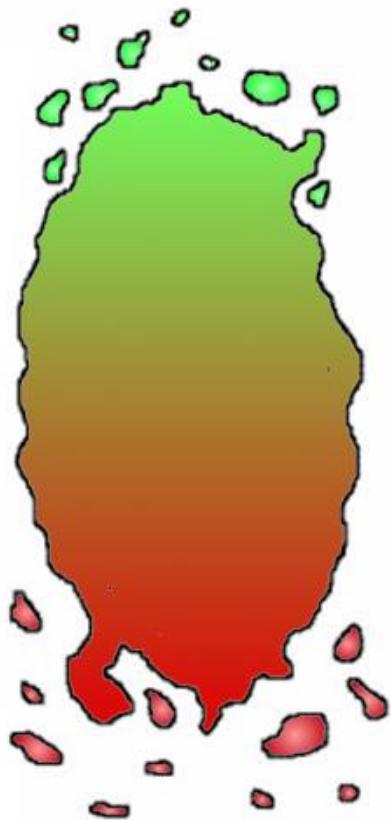
AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por la beca de posgrado.



Incapacidad de estos modelos estáticos para capturar procesos dinámicos

BORDE COLONIZADOR

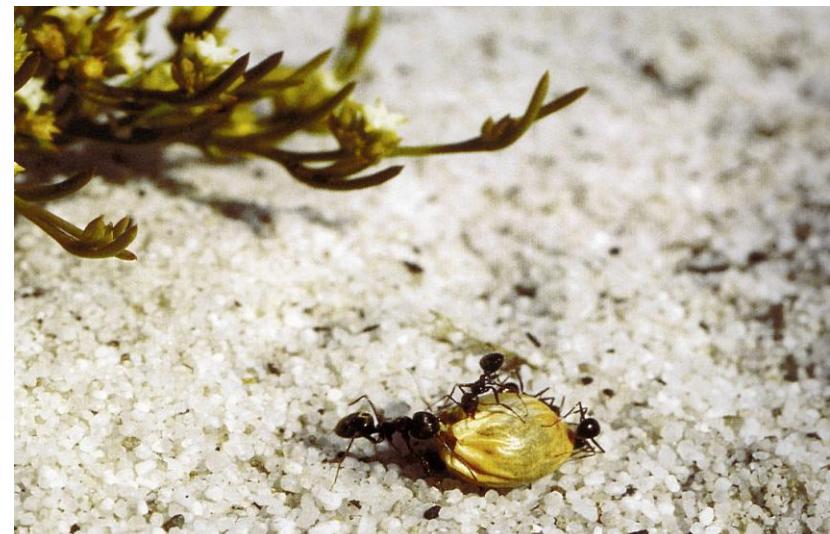


PROCESOS

Dispersión
Eventos de establecimiento
Crecimiento poblacional

BORDE DE EXTINCIÓN

Menor supervivencia
Extinción local



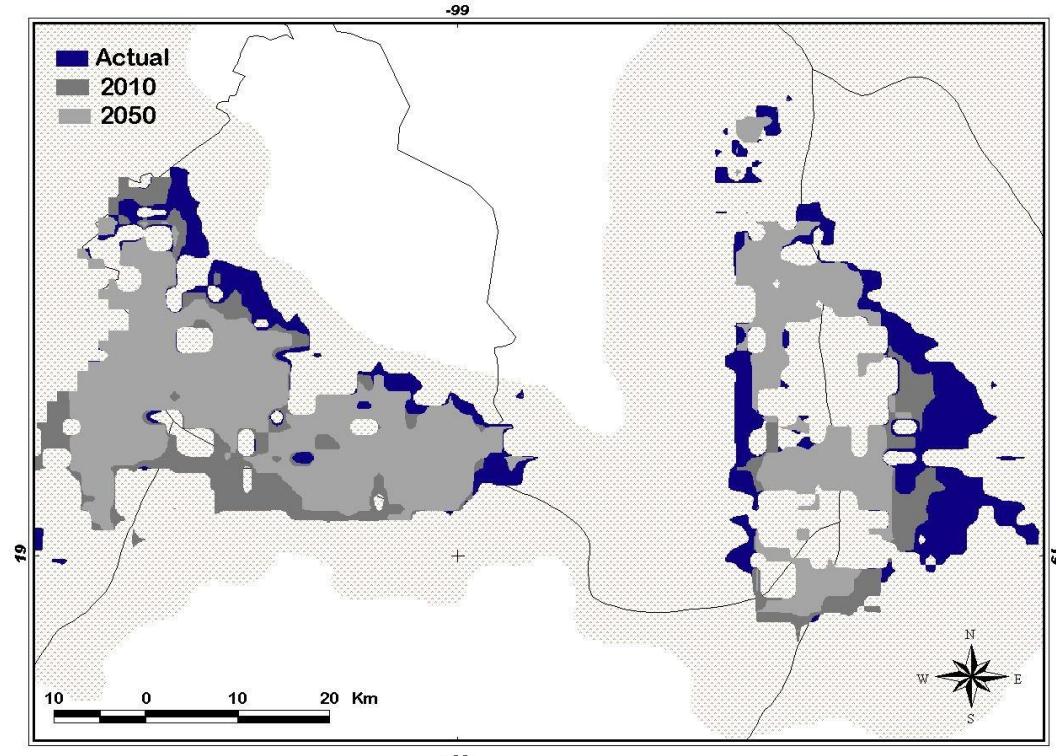
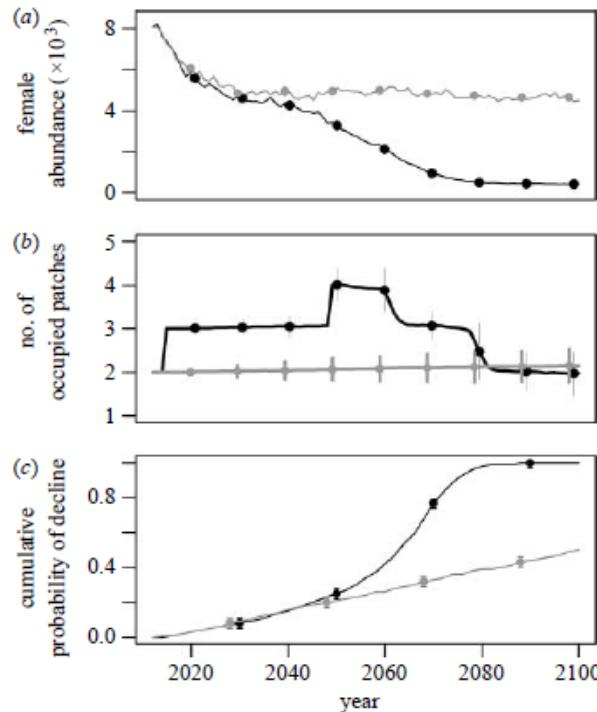
Combinación de enfoques que capturen la dinámica de los procesos de colonización/extinción

PROCEEDINGS
OF
THE ROYAL
SOCIETY **B**

Proc. R. Soc. B (2009) 276, 1415–1420
doi:10.1098/rspb.2008.1681
Published online 25 February 2009

Dynamics of range margins for metapopulations under climate change

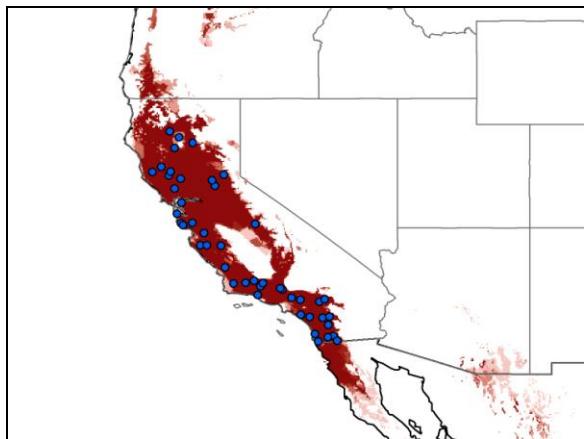
B. J. Anderson¹, H. R. Akçakaya², M. B. Araújo³, D. A. Fordham⁴,
E. Martinez-Meyer⁵, W. Thuiller⁶ and B. W. Brook^{4,*}



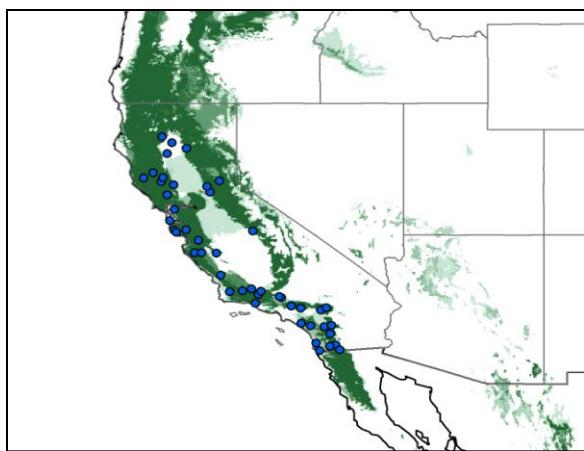
Predicción de la abundancia y cambio climático

¿Se acuerdan de la plática de ayer?

Es posible proyectar los modelos de abundancia en escenarios de cambio climático para producir hipótesis de distribución de la abundancia en el pasado y en el presente

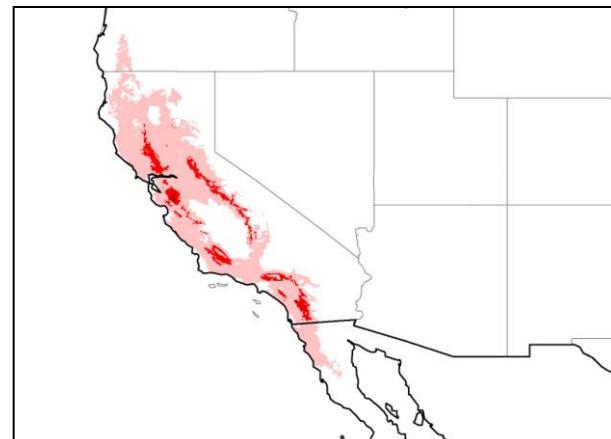


Presente

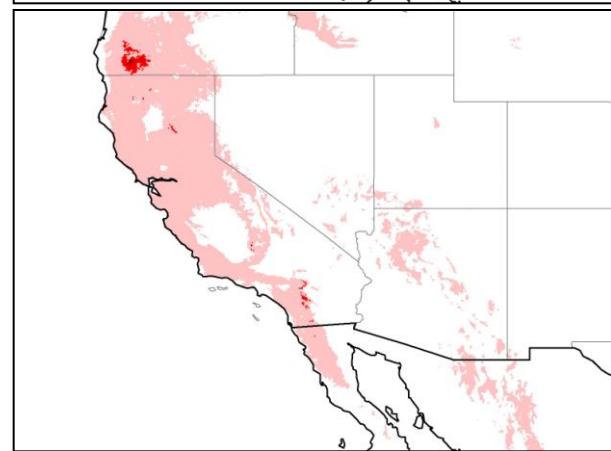


2050 bajo el
escenario CCM3
A1

Modelo predictivo de presencia



Modelo de predictivo de abundancia



Incertidumbre sobre la alteración de las interacciones bióticas



Cuando se analizan conjuntos de especies bajo escenarios de cambio climático, los modelos de las especies individuales se agregan entre sí

Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios

A. Townsend Peterson*, **Miguel A. Ortega-Huerta†**, **Jeremy Bartley‡**,
Victor Sánchez-Cordero§, **Jorge Soberón||**, **Robert H. Buddemeier‡**
& David R. B. Stockwell¶

Journal of Biogeography (J. Biogeogr.) (2006) **33**, 1712–1728



Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe

M. B. Araújo^{1,2,3*}, W. Thuiller^{4,5} and R. G. Pearson^{2,5†}

Potential distributional changes and conservation priorities of endemic amphibians in western Mexico due to climate change.

Andrés García¹, Miguel A. Ortega-Huerta^{1*} & Enrique Martínez-Meyer²

Sometido a *Global Environmental Change*

Sin embargo, estos mapas de riqueza modelada tienen altos niveles de error

How well does presence-only-based species distribution modelling predict assemblage diversity? A case study of the Tenerife flora

Aranda, Silvia C | Lobo, Jorge M

Ecography [Ecography]. Vol. 34, no. 1, pp. 31-38. Feb 2011.

Prediction error is considered an important problem in species distribution models. To address this issue, we here examined the accuracy of overlays of presence-only-based models for many individual species in representing patterns of assemblage diversity. For this purpose, we used a database of 977 160 records of seed plant occurrences on an intensively surveyed, species-rich island (Tenerife, Canary Islands) for modelling the distribution of all its 841 native plant species individually. The modelling was done using Maxent, one of the best-performing presence-only modelling techniques, using various thresholds to convert the estimated suitability values into predicted presence or absence. Distribution models for each individual species were overlaid to predict species richness and composition, which were then compared to the observed values for well-surveyed grid cells. We found high levels of compositional error, when the best performing suitability threshold for predicting species richness was applied. Our best prediction had a mean species richness error of 24% and a mean compositional error of 60% relative to the observed values for the well-surveyed cells; >50% of all species were included erroneously in >25% of the well-surveyed cells. Hence, large quantities of data are not necessarily enough to obtain reliable predictions of assemblage diversity, limiting the usefulness of this methodology in conservation planning.

En suma

Para proyecciones al futuro

En su estado actual, los MNE están fuertemente limitados por los altos niveles de incertidumbre producidos por diferentes fuentes (datos, procedimientos, vacíos de información)

Este enfoque nos permite generar hipótesis geográficas, pero su capacidad de anticipar los cambios distribucionales se limita a identificar la dirección del cambio y en menor medida la magnitud

La combinación de enfoques metodológicos permite mejorar nuestra capacidad de capturar procesos dinámicos

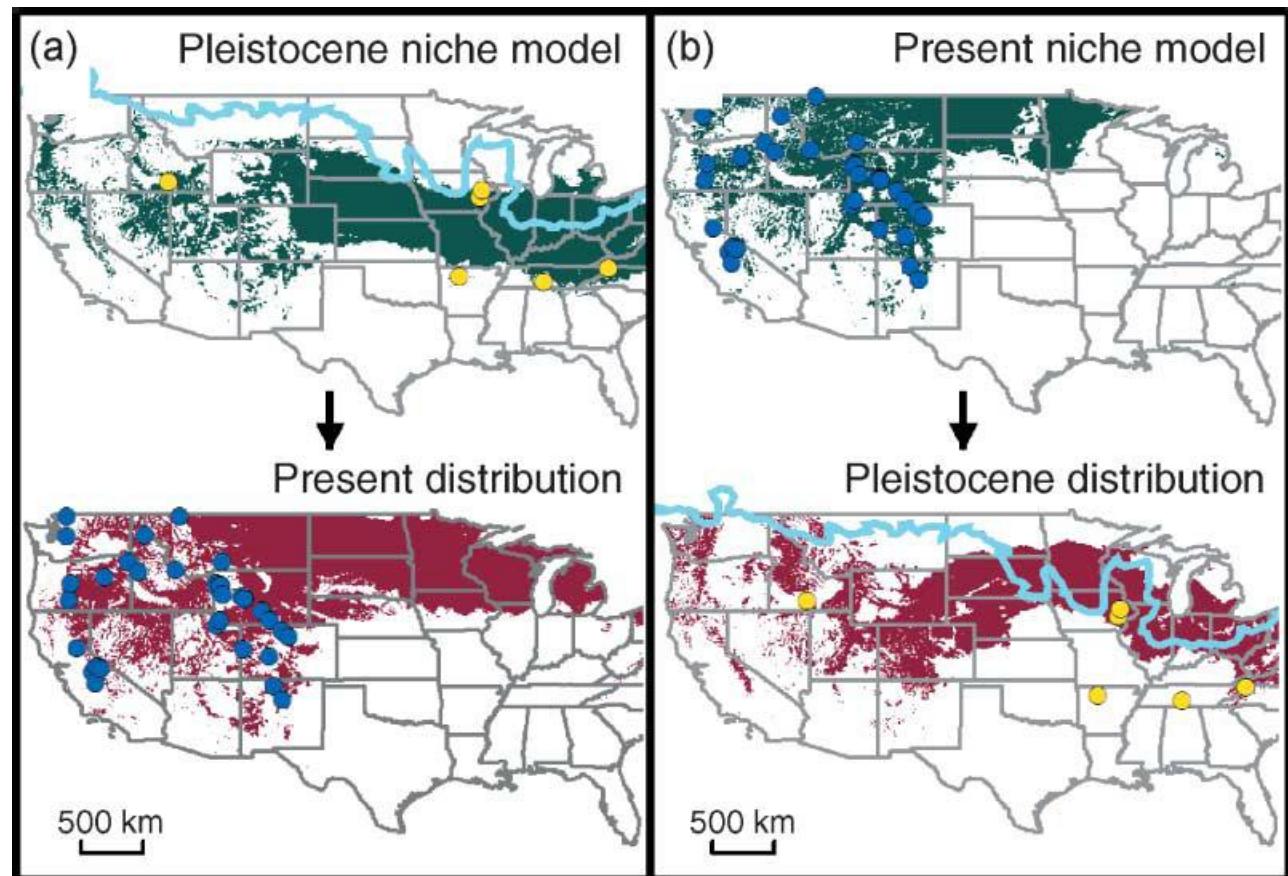
Los MNE en la investigación histórica

Más recientemente, la MNE se han utilizado para “retroyectar” los nichos ecológicos a escenarios climáticos pasados con el fin de entender procesos históricos

Conservadurismo
del nicho ecológico



Metorito
(*Phenacomys
intermedius*)



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

Identificación de Refugios Bióticos

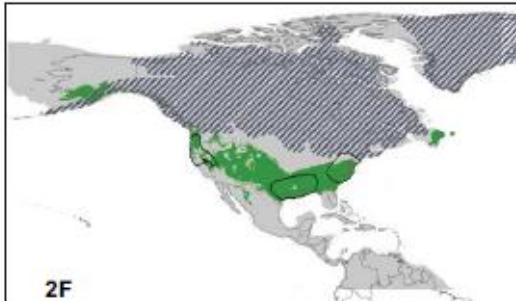
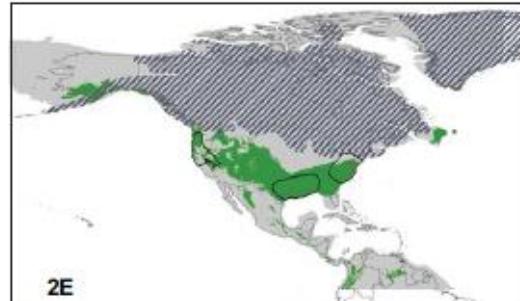
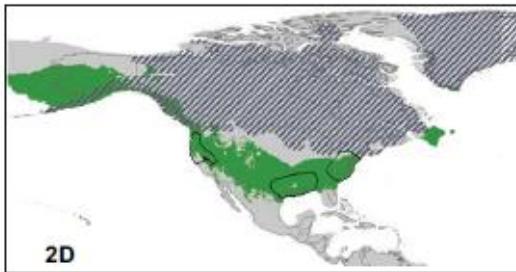
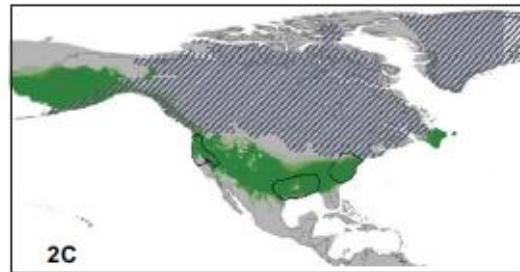
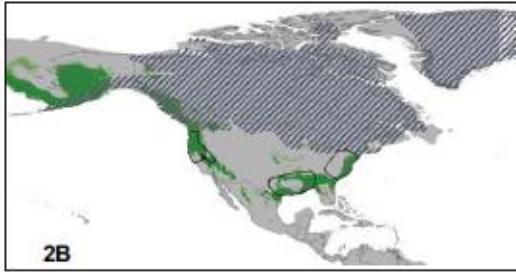
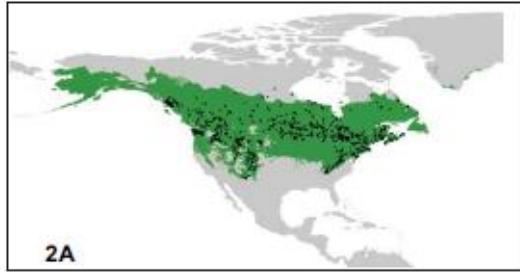
OPEN  ACCESS Freely available online

 PLoS one

Locating Pleistocene Refugia: Comparing Phylogeographic and Ecological Niche Model Predictions

Eric Waltari^{1*}, Robert J. Hijmans², A. Townsend Peterson³, Árpád S. Nyári³, Susan L. Perkins¹, Robert P. Guralnick⁴

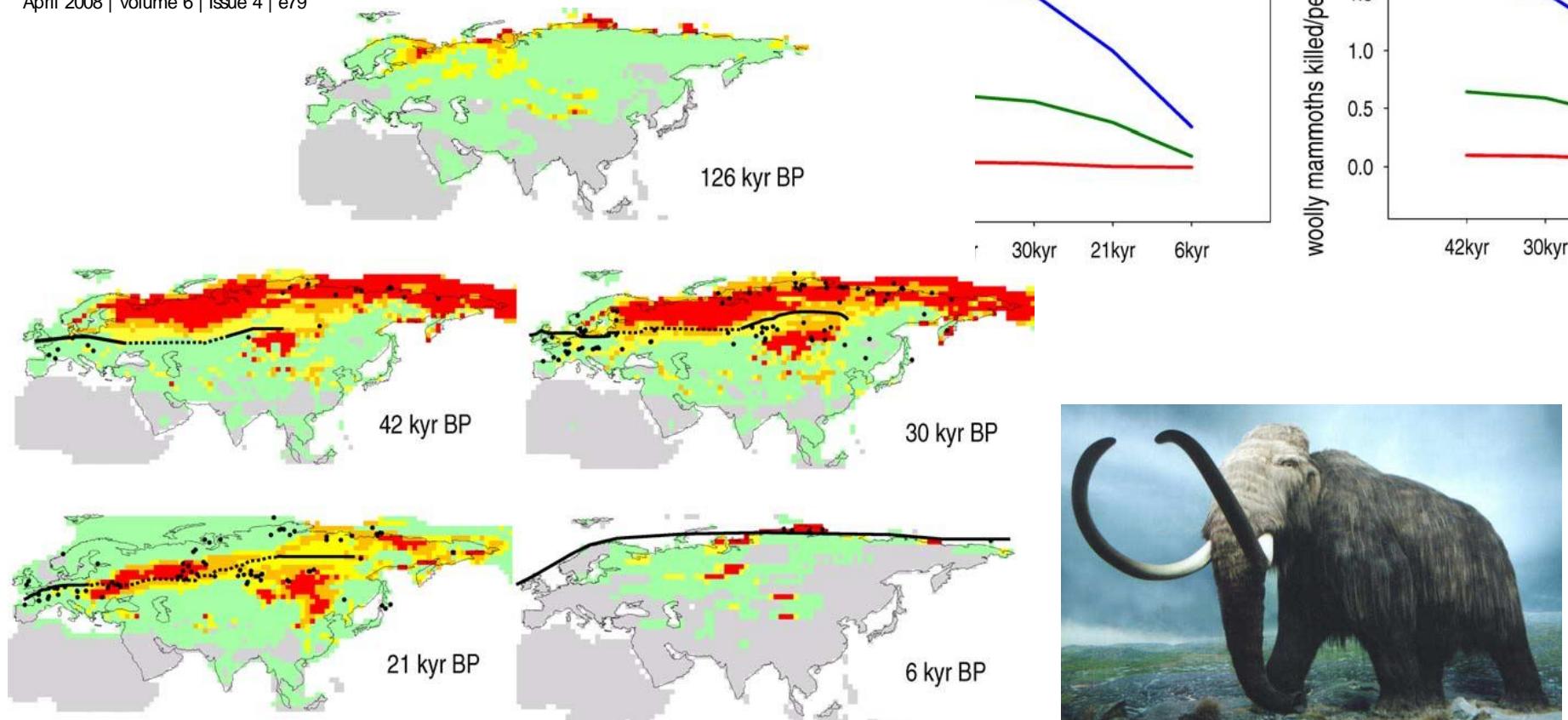
July 2007 | Issue 7 | e563



Climate Change, Humans, and the Extinction of the Woolly Mammoth

David Nogués-Bravo^{1*}, Jesús Rodríguez², Joaquín Hortal³, Persaram Batra⁴, Miguel B. Araújo¹

April 2008 | Volume 6 | Issue 4 | e79

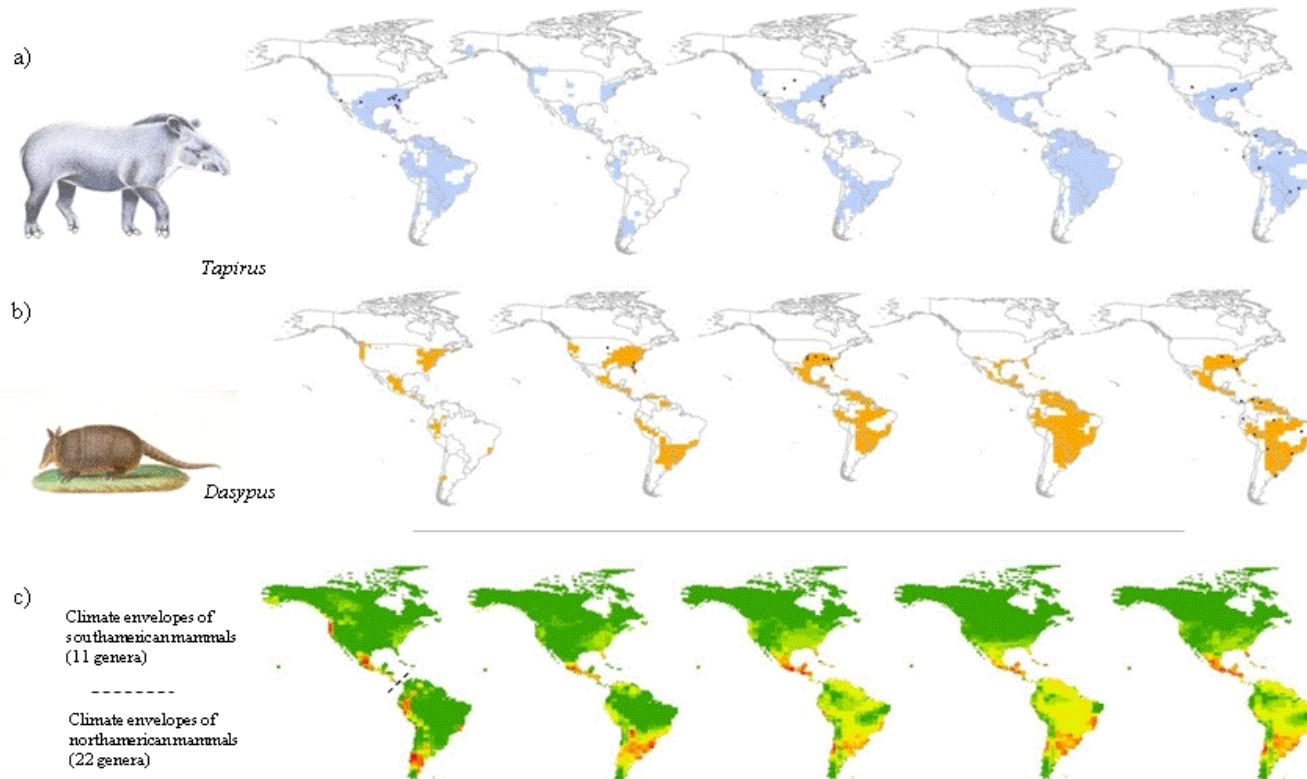


Colonización

Why did North American species moved south?

Habitat availability determined migrations during the American Biotic Interchange

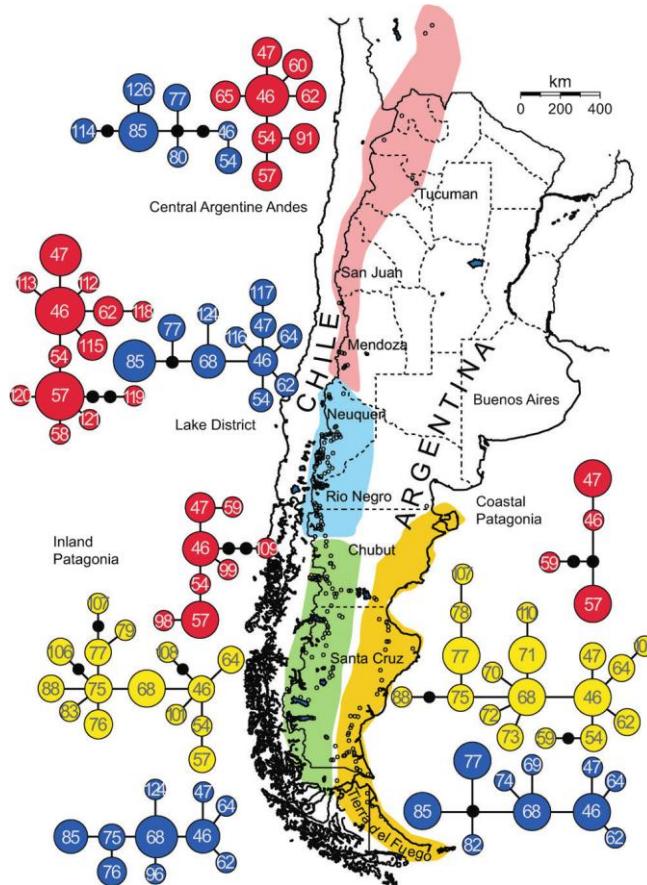
Munguia, M.^{1,2}, Martinez-Meyer, E.¹, Nakamura, M.¹ and Araújo, M.B.^{1,3,4}



Procesos demográficos

Phylogeographic Analyses and Paleodistribution Modeling Indicate Pleistocene In Situ Survival of *Hordeum* Species (Poaceae) in Southern Patagonia without Genetic or Spatial Restriction

Sabine S. Jakob, Enrique Martinez-Meyer,† and Frank R. Blattner**



Mol. Biol. Evol. 26: 907-923, 2009

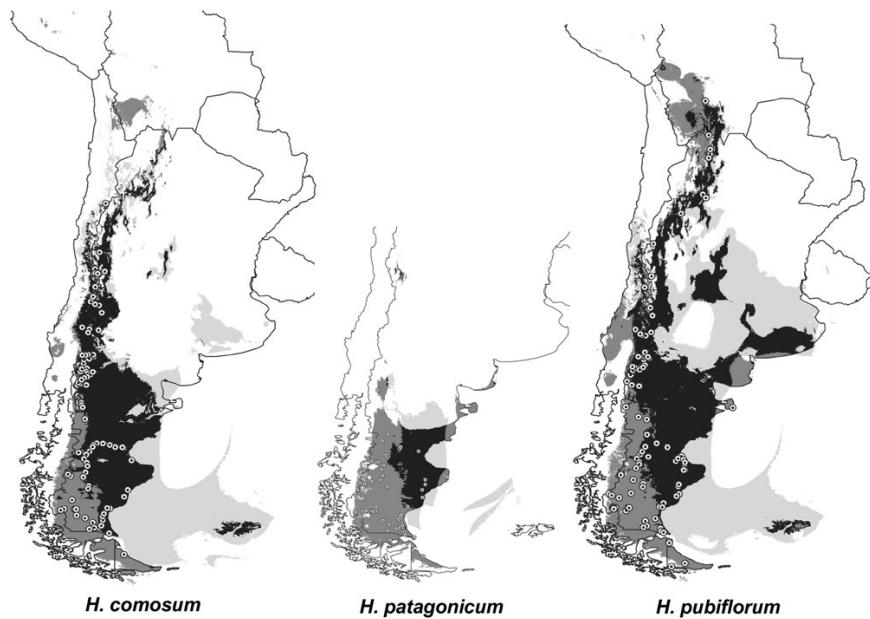


FIG. 4.—Present (dark gray and black) and past (light gray and black) distribution models of the three *Hordeum* species in southern South America calculated with GARP on the basis of extant occurrence points (white dots) of the species. The given potential distribution areas during the last glacial maximum (about 21,000 years ago) are consensus areas from two different Pleistocene climate models. Apart from inland Patagonia and Tierra del Fuego, the models infer the potential distribution of the *Hordeum* species in all areas where they occur today also during the last glacial maximum.

En suma

Para retroyecciones

Las preguntas que se pueden abordar son mucho más interesantes, pues existe información de distinta naturaleza que se puede integrar en los análisis (e.g., registro fósil, información arqueológica, genética, paleoambiental, etc.)

La limitante más importante es la disponibilidad de datos a resoluciones finas, tanto climáticos como biológicos, para períodos y sitios específicos

Las lecciones que podamos aprender de lo ocurrido en el pasado nos pueden ser de gran utilidad para entender el fenómeno actual de cambio en el clima y tener más elementos para predecir el futuro

GRACIAS

emm@ibiologia.unam.mx

