

Reducción de la incertidumbre de los modelos de distribución de especies con datos ecológicos y paleoecológicos

E. Moreno-Amat ^{1,*}

(1) Departamento de Sistemas y Recursos Naturales, Universidad Politécnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid, España.

* Autor de correspondencia: E. Moreno Amat [emorenoamat@gmail.com]

> Recibido el 13 de mayo de 2017 - Aceptado el 28 de agosto de 2017

Moreno-Amat, E. 2017. Reducción de la incertidumbre de los modelos de distribución de especies con datos ecológicos y paleoecológicos. *Ecosistemas* 26(3): 106-109. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-3.13

Una herramienta muy utilizada actualmente para estimar la distribución potencial de una especie son los *Modelos de Distribución de Especies* (MDE). En concreto, los MDE correlativos son algoritmos que establecen relaciones estadísticas entre las presencias de una especie y las variables ambientales y predicen su idoneidad en el área de estudio (ver revisiones de: [Elith y Leathwick 2009](#); [Franklin 2010](#)). Estos modelos permiten estudiar cómo varía la distribución de una especie bajo diferentes condiciones climáticas y han sido ampliamente proyectados en el tiempo y espacio para estimar el nicho ecológico de las especies ([Elith y Leathwick 2009](#)), en la gestión de especies y territorios ([Schwartz 2012](#)), en estudios de conservación y cambio climático ([Araújo et al. 2011](#)), y en el estudio de especies invasoras ([Gallien et al. 2012](#)), entre otros. Sin embargo, la aplicabilidad y la validez de sus predicciones están actualmente en discusión ([Sinclair et al. 2010](#)).

Al proyectar geográficamente los MDE se ha observado que existen grandes diferencias en las predicciones ([Elith y Graham 2009](#)). Incluso para el mismo escenario de emisiones de gases de efecto invernadero, los impactos en la vegetación varían según el modelo climático usado ([Felicísimo 2011](#)). Las predicciones de los modelos pueden verse afectadas por diferentes decisiones del proceso de modelización (algoritmo de modelización, modelos climáticos, datos de partida, elección de las variables predictoras y otras decisiones del proceso de modelización) que conducen a grandes diferencias en los resultados ([Dormann et al. 2008](#)).

Para contrastar la validez de las predicciones es imprescindible validar los modelos con datos independientes de los utilizados para calibrar los modelos. Los modelos generados con datos actuales pueden validarse con datos procedentes de muestreos independientes o imágenes de satélite. Sin embargo, para evaluar la transferibilidad temporal de los modelos es necesario comparar las predicciones de los modelos proyectados en otros periodos temporales con datos independientes, como son los registros fósiles ([Rodríguez-Sánchez y Arroyo 2008](#)).

El objetivo de esta tesis doctoral es la reducción de la incertidumbre de los MDE correlativos para mejorar su transferibilidad temporal y espacial mediante la incorporación de la información aportada por la paleobotánica, por las imágenes de satélite y el estudio de la influencia de diferentes factores en el proceso de mo-

delización. En esta tesis he estudiado la influencia de los datos de partida en los modelos (datos de presencia actual, datos paleobotánicos y datos climáticos), atendiendo a los requisitos para representar la distribución natural actual de la especie, así como al efecto de las poblaciones marginales y la variabilidad de las bases de datos climáticas en las predicciones de los modelos. Asimismo, he ahondado en algunos aspectos metodológicos de los modelos, como la influencia de la complejidad de los modelos y el uso de umbrales de corte en la incertidumbre y transferibilidad temporal de los mismos.

En primer lugar revisé el potencial y las limitaciones del uso de los datos paleobotánicos en los MDE. Para ello realicé una revisión de artículos que incorporasen datos paleobotánicos en los MDE ([Fig. 1](#)). Los datos paleobotánicos, al contrario que los actuales, tienen asociada una incertidumbre temporal y espacial que podría dificultar las interpretaciones ecológicas de los modelos que utilizan estos datos y conducir a conclusiones erróneas. La correcta interpretación de la información que proporcionan los diferentes datos paleobotánicos (p.e. polen fósil) es posiblemente el factor que más limita su uso en los MDE pero estas limitaciones generalmente no se discuten en las publicaciones de modelización. Algunos estudios podrían interpretar erróneamente los resultados al incorporar estos datos en los modelos debido a, por ejemplo, la distribución sesgada de los datos de las bases de datos globales que no reflejan los patrones de densidad real de datos, o la generación de modelos para un determinado grupo taxonómico que incluye taxones con nichos ecológicos muy diferentes (p.e. *Pinus* L., en [Williams et al. 2013](#)). Esta tesis doctoral proporciona sugerencias concretas para incorporar adecuadamente estos datos en los MDE ([Moreno-Amat et al. 2017](#)).

En el siguiente capítulo de la tesis generé MDE en la actualidad con diferentes niveles de complejidad para las especies vegetales ibéricas *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. y *Corylus avellana* L y los proyecté bajo condiciones climáticas del Holoceno medio (6000 años BP). Lo novedoso de este estudio es el uso de polen fósil para evaluar cómo afecta la complejidad de los modelos en su transferibilidad temporal. Además este capítulo sirve de ejemplo de cómo utilizar los datos paleobotánicos para validar modelos calibrados en el presente y proyectados al pasado.

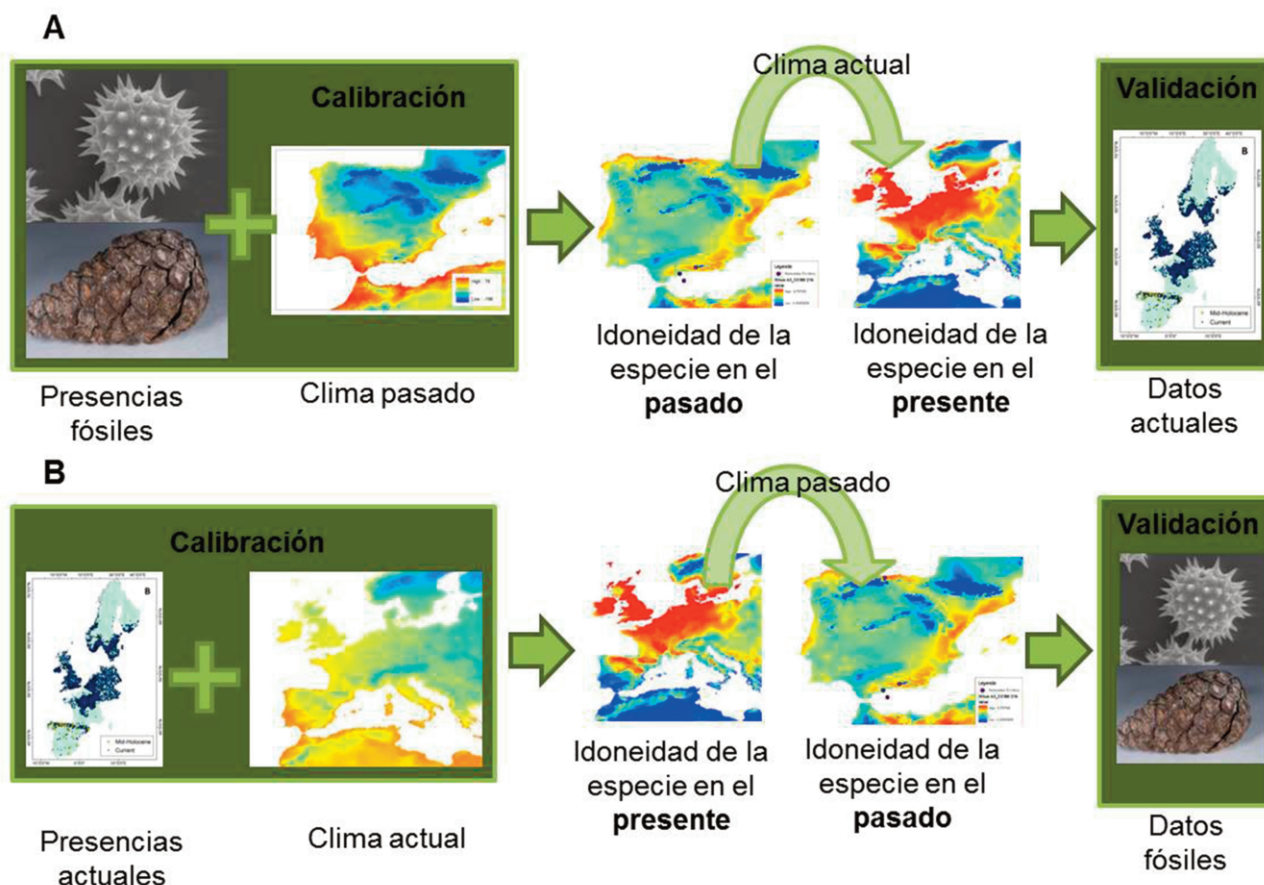


Figura 1. Utilización de los datos fósiles en los modelos de distribución de especies en la: A) calibración y B) validación de los modelos. Imagen de polen: <http://remf.dartmouth.edu/imagesindex.html>

Figure 1. Use of fossil data in species distribution models in the: A) calibration and B) validation of the models. Pollen image: <http://remf.dartmouth.edu/imagesindex.html>

Los resultados de este capítulo muestran que la complejidad de los modelos afecta a su capacidad predictiva, a la idoneidad predicha y a su transferibilidad temporal. La capacidad predictiva aumenta al incrementar la complejidad del modelo en las predicciones actuales de los modelos, no así en los modelos proyectados en el Holoceno medio (Fig. 2) (Moreno-Amat et al. 2015). Se observa que los parámetros seleccionados por defecto por el algoritmo de modelización Maxent generan modelos de complejidad elevada que pueden tener una gran capacidad predictiva en las distribuciones actuales, pero producir predicciones pobres en diferentes áreas o periodos de tiempo (Warren et al. 2014). Al ser los MDE muy utilizados para identificar áreas idóneas para las especies en el futuro se advierte que los modelos calibrados con elevada complejidad podrían estimar incorrectamente la idoneidad futura de las especies.

Posteriormente evalué el efecto de realizar los MDE con diferentes datos de presencia de la especie y climáticos en su predicción en el presente y bajo escenarios de cambio climático. Para ello dividí los datos de presencia de *Pinus uncinata* Ramond ex DC. in Lam. and DC. según sub-hábitats y evalué las predicciones de los modelos en las poblaciones marginales de la especie. Se aprecia que la proporción de hábitat incluida en el modelo afecta de forma importante a las predicciones localizadas en las poblaciones marginales de la especie, siendo los modelos de *P. uncinata* realizados con los datos de presencia asociados a los valores ambientales más extremos los que predicen cierta idoneidad en las poblaciones marginales. De esta forma, los modelos generados con los sub-hábitats sirven como complemento al modelo realizado con las presencias totales de la especie para obtener una visión más completa de la distribución potencial actual y futura de la especie. En cuanto a las distintas bases de datos de clima y modelos de circulación general, se observa que producen diferencias en los resultados de los mo-

delos. Por consiguiente, recomiendo el uso de bases de datos regionales con gran cobertura espacial y altitudinal de estaciones meteorológicas y diferentes modelos climáticos para considerar la variación de los resultados debida a los datos climáticos.

Por último, validé la capacidad predictiva de los MDE con imágenes de satélite (Fig. 3), evaluando la influencia de las presencias y umbrales usados en el modelo y su aplicación para el estudio de la sensibilidad de *Pinus hartwegii* Lindl. al cambio climático en el parque nacional Izta-Popo (México). Ante la falta de datos independientes en el presente para validar los modelos, las imágenes de satélite constituyen una fuente de datos alternativa para seleccionar los modelos óptimos para predecir la distribución de la especie y este es el primer caso en el que se aplica. Los resultados demuestran que la validación de los MDE con imágenes de satélite es viable en clases de vegetación mono-específicas. Asimismo, observé que la elección del umbral de corte en la idoneidad predicha para la especie influye en el área idónea presente y futura. Por tanto recomiendo el uso de varios umbrales incorporando así la sensibilidad de los resultados a la elección del umbral.

Los principales resultados de esta tesis doctoral indican que los parámetros estudiados (presencias actuales, datos fósiles, datos climáticos, complejidad de los modelos y selección del umbral) afectan tanto a la capacidad predictiva como a la idoneidad predicha por los MDE en diferentes periodos temporales. Esta tesis demuestra la utilidad de la generación de múltiples MDE con diferentes datos de partida, la selección de los parámetros de modelización óptimos para cada especie y área de estudio para reducir la incertidumbre asociada a estos modelos. La presente tesis doctoral prueba el gran potencial de los datos paleobotánicos para calibrar y evaluar las proyecciones de los MDE en el pasado y de las imágenes de satélite como herramienta para la validación de los MDE en el presente.

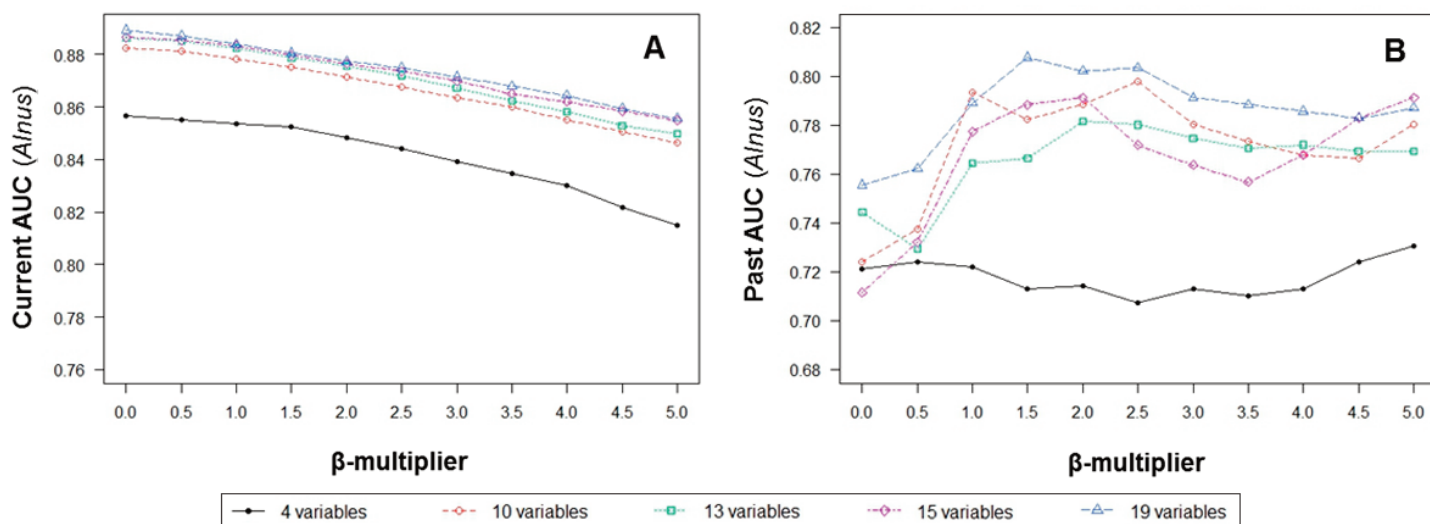


Figura 2. Valores de AUC (Área bajo la curva ROC) de los modelos de Maxent generados con el ajuste autofeatures, diferentes conjuntos de variables (con distintos símbolos y colores) y varios β -multiplier para las condiciones climáticas A) actuales y B) del Holoceno medio para *Alnus*.

Figure 2. AUC (Area under the ROC curve) values for Maxent models fitted with autofeatures, different sets of variables (varying symbols and colours) and different β -multiplier under A) current and B) mid-Holocene climatic conditions for *Alnus*.

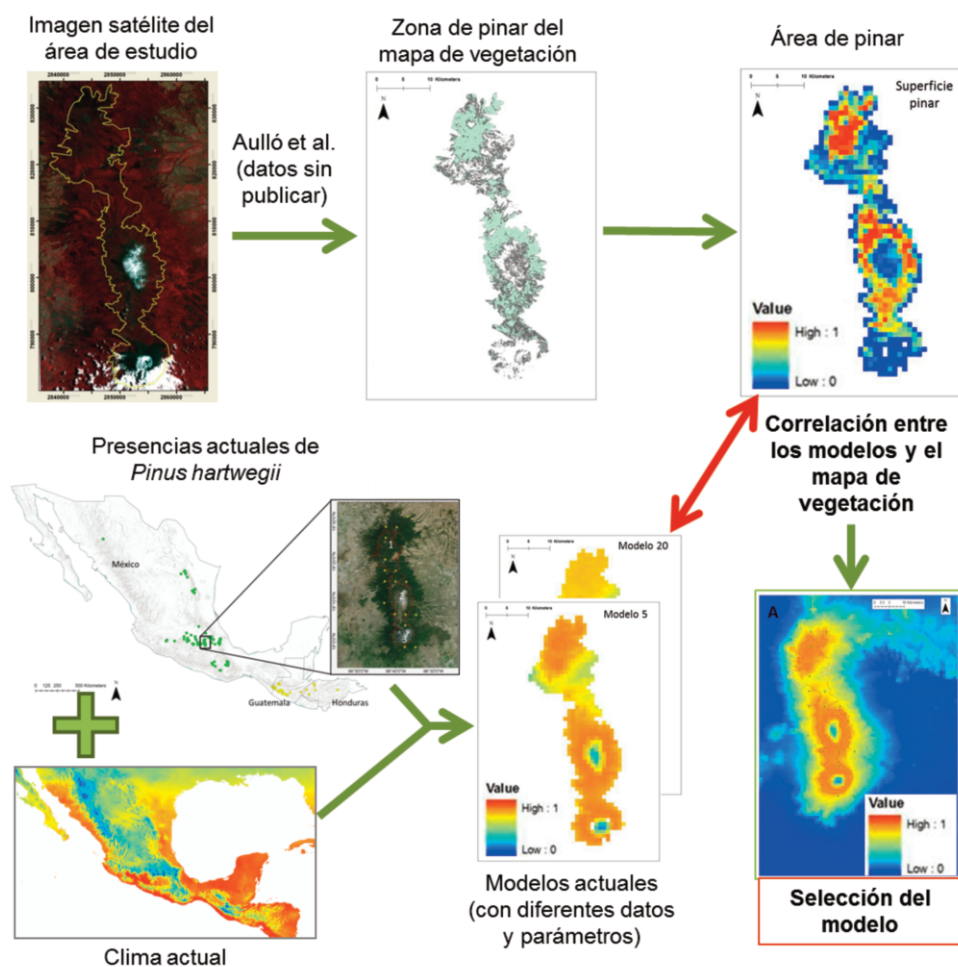


Figura 3. Metodología seguida en la tesis doctoral para la validación de modelos de distribución de especies actuales con imágenes de satélite en el parque nacional Izta-Popo (México).

Figure 3. Methodology followed in the PhD thesis for the validation of the current species distribution models with satellite images in the Izta-Popo National Park (Mexico).

Agradecimientos

Esta tesis doctoral ha sido financiada con una beca-contrato de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM-RR01/2011), los proyectos de investigación CLIMIFORAD del Banco Interamericano de Desarrollo (RG-T1837) y DIPAVE (CSO2015-65216-C2-2-P) y (CGL2011-27229) del Ministerio de Economía y Competitividad.

Referencias

- Araújo, M.B., Alagador, D., Cabeza, M., Nogués-Bravo, D., Thuiller, W. 2011. Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters* 14: 484–92.
- Dormann, C.F., Porschke, O., Márquez, J.R.G., Lautenbach, S., Schröder, B. 2008. Components of uncertainty in species distribution analysis: a case study of the great grey shrike. *Ecology* 89:3371-3386.
- Eliith, J., Graham, C.H. 2009. Do they? How do they? WHY do they differ? On finding reasons for differing performances of species distribution models. *Ecography* 32:66-77.
- Eliith, J., Leathwick, J.R. 2009. Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40:677-697.
- Felicísimo Á.M. (Coord.) 2011. *Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. 2. Flora y vegetación*. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España. 552 pp.
- Franklin, J. 2010. *Mapping species distribution: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Gallien, L., Douzet, R., Pratte, S., Zimmermann, N.E., Thuiller, W. 2012. Invasive species distribution models—how violating the equilibrium assumption can create new insights. *Global Ecology and Biogeography* 21: 1126-1136.
- Moreno-Amat, E., Mateo, R.G., Nieto-Lugilde, D., Morueta-Holme, N., Svenning, J.C., García-Amorena, I. 2015. Impact of model complexity on cross-temporal transferability in Maxent species distribution models: An assessment using paleobotanical data. *Ecological Modelling* 312:308-317.
- Moreno-Amat, E., Rubiales J.M., Morales-Molino, C., García-Amorena, I. 2017. Incorporating plant fossil data into species distribution models is not straightforward: pitfalls and possible solutions. *Quaternary Science Reviews* 170: 56-68.
- Rodríguez-Sánchez, F., Arroyo, J. 2008. Reconstructing the demise of Tethyan plants: climate-driven range dynamics of Laurus since the Pliocene. *Global Ecology and Biogeography* 17:685-695.
- Schwartz, M.W. 2012. Using niche models with climate projections to inform conservation management decisions. *Biological Conservation* 155: 149-156.
- Sinclair, S.J., M.D. White, G.R. Newell. 2010. How useful are species distribution models for managing biodiversity under future climates? *Ecology and Society* 15.
- Warren, D.L., Wright, A.N., Seifert, S.N., Shaffer, H.B. 2014. Incorporating model complexity and spatial sampling bias into ecological niche models of climate change risks faced by 90 California vertebrate species of concern. *Diversity and Distributions* 20:334-343.
- Williams, J.W., Kharouba, H.M., Veloz, S., Vellend, M., McLachlan, J., Liu, Z., Otto-Bliesner, B., He, F. 2013. The ice age ecologist: testing methods for reserve prioritization during the last global warming. *Global Ecology and Biogeography* 22: 289-301.

ELENA MORENO AMAT

Reducción de la incertidumbre de los modelos de distribución de especies con datos ecológicos y paleoecológicos

Tesis Doctoral

Departamento de Sistemas y Recursos Naturales, Universidad Politécnica de Madrid.

Enero 2017

Director: Ignacio García-Amorena Gómez del Moral

Publicaciones resultantes de la tesis

Moreno-Amat, E., Mateo, R.G., Nieto-Lugilde, D., Morueta-Holme, N., Svenning, J.C., García-Amorena, I. 2015. Impact of model complexity on cross-temporal transferability in Maxent species distribution models: An assessment using paleobotanical data. *Ecological Modelling* 312:308-317.

Moreno-Amat, E., Rubiales J.M., Morales-Molino, C., García-Amorena, I. 2017. Incorporating plant fossil data into species distribution models is not straightforward: pitfalls and possible solutions. *Quaternary Science Reviews* 170: 56-68.