

Estimación del riesgo de invasión de especies exóticas en España y en Portugal continental

David Galicia Herbada¹,
María Jesús Serra Varela²,
Miguel Álvarez del Río³

¹ Doctor Biólogo. Departamento de Calidad, Evaluación Ambiental y Medio Natural, Tragsatec

² Doctora Ingeniera de Montes. INIA

³ Matemático. Departamento de Sistemas de Información Geográfica, Tragsatec

Las invasiones biológicas se reconocen como paradigma del cambio global. La prevención es la estrategia más eficaz para enfrentar este problema, particularmente si se dirige a las zonas y ecosistemas que presentan un riesgo de invasión mayor. La evaluación del riesgo de invasión se realiza habitualmente para especies determinadas, lo cual tiene un alcance limitado al no permitir llevar a cabo generalizaciones. Por ello, para estimar el riesgo de invasión planteamos un modelo genérico que, en vez de especies, hace uso de factores clave en la distribución geográfica y el nivel de dicho riesgo: ambiente, diversidad beta, presión de propágulo y perturbación de los ecosistemas. Presentamos los primeros resultados del desarrollo de dicho modelo y de su aplicación en España y Portugal continental con una resolución de 1 km². La comparación del riesgo de invasión con la distribución de la riqueza de especies exóticas sugiere que el ambiente no es el principal responsable del patrón geográfico de las invasiones biológicas en este territorio.

Palabras clave: *Biogeografía; diversidad beta; especies alóctonas*

INTRODUCCIÓN

Las invasiones biológicas se reconocen como paradigma del cambio global inducido por el ser humano. Su impacto sobre la biodiversidad y sobre los procesos ecosistémicos es generalmente negativo y se traduce, normalmente, en una degradación de los servicios económicos, sociales, culturales y de salud que los ecosistemas prestan al hombre. Resulta, por tanto, necesario tomar medidas que

eviten o palién posibles invasiones, para lo cual es importante identificar los lugares y ecosistemas que presentan un mayor riesgo de invasión.

La evaluación del riesgo de invasión se realiza habitualmente para determinadas especies o grupos de ellas (Thuiller et al., 2005; Leung et al., 2012), con un alcance limitado al no permitir llevar a cabo generalizaciones, y al estar su éxito supeditado a trabajar con especies que han logra-

do el equilibrio con el ambiente en la distribución geográfica. Por ello, para estimar el riesgo de invasión planteamos un modelo que toma la invasión como un proceso universal y no como un estado específico. Nuestro modelo no hace uso de especies sino que incorpora factores que han demostrado ser claves en la determinación del patrón geográfico y del nivel de riesgo: la similitud ambiental, la diversidad beta (disimilitud en la composición de especies), la presión de propágulo y el grado de perturbación de los ecosistemas (Catford et al., 2009; Lockwood et al., 2009; Eschtruth y Battle, 2009; Pyšek et al., 2010; González-Moreno et al., 2014; Gallardo et al., 2015; Campos et al., 2016; Dyer et al., 2017). Mostramos aquí los primeros resultados del desarrollo del modelo, referidos a los dos primeros factores, ambiental y biogeográfico.

El objetivo del trabajo es estimar la magnitud relativa y la distribución geográfica del riesgo de invasión de especies exóticas en España y Portugal continental, ofreciendo un marco espacial de referencia para la gestión

preventiva de las invasiones biológicas a escala nacional y peninsular.

MATERIAL Y MÉTODOS

Con riesgo de invasión nos referimos a la probabilidad de introducción, establecimiento y expansión de especies exóticas, sin considerar el impacto que puedan producir. El riesgo de invasión que estimamos se refiere exclusivamente al derivado del ambiente (disimilitud ambiental) y la biogeografía (diversidad beta). Actualmente estamos analizando otros componentes de tipo antropogénico, como presión de propágulo o perturbación, que influyen en el riesgo de invasión.

Datos climáticos

Se han tomado de WorldClim (www.worldclim.org) y CGIAR-CSI (www.cgiar-csi.org), referidos a la malla de celdas de $\approx 1 \text{ km}^2$ que utiliza WorldClim (Hijmans et al., 2005).

Diversidad beta

El riesgo de invasión desde territorios próximos quedaría sobrestimado

si no se tuviera en cuenta la diversidad beta. El valor de la diversidad beta de cada celda del mundo respecto al territorio en el que estimamos el riesgo de invasión puede interpretarse como la probabilidad de que una especie procedente de esa celda sea exótica en dicho territorio. Hemos considerado que el aumento de la diversidad beta es linealmente proporcional a la distancia geográfica (Soininen y Hillebrand, 2007; Keil et al., 2012), calculada entre el centroide de la península ibérica y las celdas de 1 km^2 que se encuentran fuera del territorio ibero-baleár. En el norte de África, hemos ponderado con mayor peso la distancia en dirección Norte-Sur para registrar el gradiente más acentuado que se observa en ella. Para establecer el peso en esa misma dirección y continente asumimos que el valor máximo se alcanza en la frontera entre los reinos Holártico y Paleotropical, y que entre la península ibérica y el norte de África existe una discontinuidad en el gradiente de diversidad beta terrestre. En las islas Canarias, considerando el efecto combinado de la distancia y del

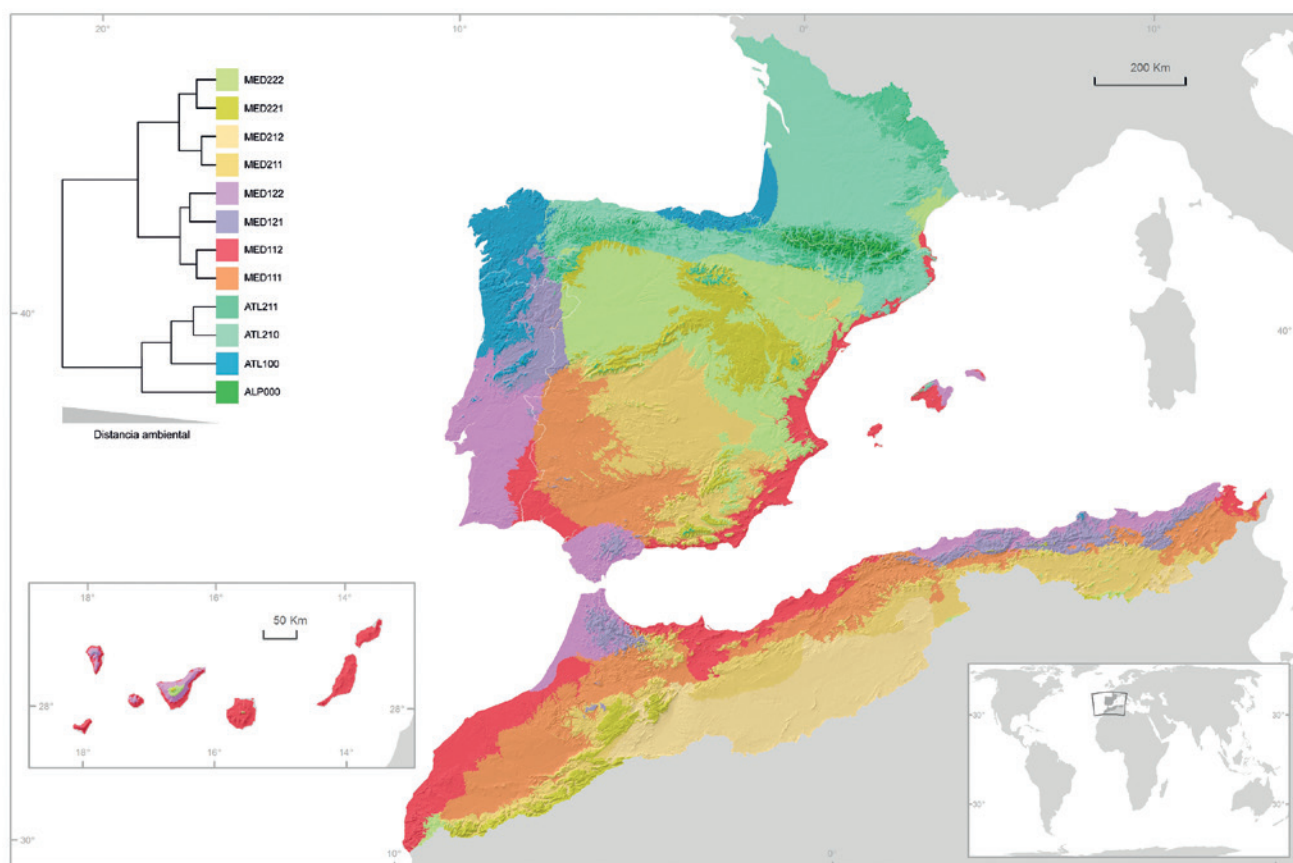


Fig. 1. Ambientes climáticos resultantes de la clasificación de las celdas de 1 km^2 y relaciones entre ellos (dendrograma).

aislamiento geográfico, y a la vista de los datos de diversidad disponibles, asignamos el valor máximo respecto al territorio peninsular.

Identificación de ambientes

Para identificar los ambientes hemos realizado una clasificación de las celdas de 1 km² que cubren el territorio estudiado, y de los territorios contiguos para evitar un posible efecto de borde. La clasificación está basada en un conjunto reducido de factores directamente responsables de las pautas ambientales con las que se estructura el territorio. La selección de variables se hizo con el criterio de reflejar equilibradamente la disponibilidad espacial y temporal de agua y energía, excluyendo variables muy correlacionadas. Las celdas se sometieron a una clasificación no jerárquica utilizando el algoritmo *k-means* y la distancia euclídea normalizada como medida de disimilitud. Además, para conocer las relaciones entre los ambientes identificados se llevó a cabo una clasificación jerárquica empleando la distancia de Ward.

Disimilitud ambiental

La disimilitud ambiental por celda se obtuvo calculando la distancia euclídea normalizada de cada celda mundial de 1 km² a la media de cada ambiente identificado en España y territorios contiguos. La disimilitud por ambiente se obtuvo como distancia acumulada a partir de la suma de las distancias de todas las celdas del mundo a cada ambiente.

Riesgo de invasión derivado de la disimilitud ambiental y la diversidad beta

El riesgo de invasión de cada ambiente (RI) derivado de la disimilitud ambiental (E) y la diversidad beta (B) lo estimamos mediante la suma del producto de la disimilitud ambiental y la diversidad beta calculadas para cada celdas de 1 km² del mundo (n) respecto a cada uno de los ambientes identificados en España, Portugal continental y territorios colindantes.

$$RI = \sum_n^1 B (1-E)$$

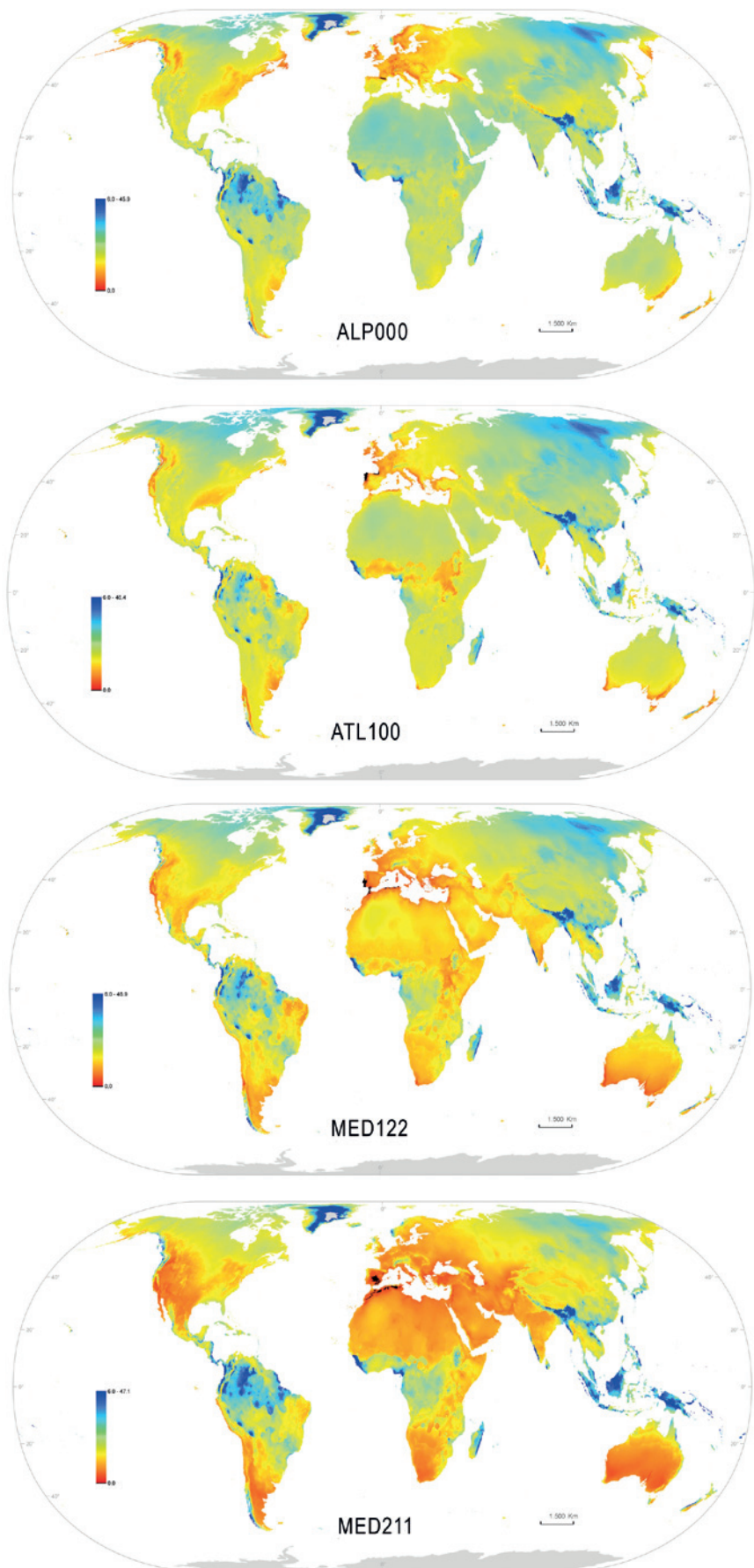


Fig. 2. Disimilitud ambiental de cada celda mundial a los ambientes de España y Portugal continental y su entorno (color negro). Ejemplo de cuatro ambientes climáticos: alpino (ALP000), atlántico (ATL100), mediterráneo oceánico húmedo (MED122) y mediterráneo continental seco (MED 211). Los colores y tonos más fríos indican mayor disimilitud.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diversidad beta

La diversidad beta alcanza su valor máximo ($B=1$) a partir de 4000 km en Eurasia, y de un radio variable de 2300 a 3000 km en África.

Identificación de ambientes y relaciones entre ellos

Las variables seleccionadas para el análisis fueron la temperatura media anual, temperatura mínima del mes más frío, precipitación del trimestre más cálido, precipitación del trimestre más frío, índice de aridez (evapotranspiración potencial/precipitación total anual) e índice de continentalidad de Gorczinsky. En la figura 1 se muestra el resultado de la clasificación de las celdas de 1 km² de la península ibérica, Baleares, Canarias y territorios contiguos con $k=12$ como número óptimo de grupos. El valor de k seleccionado fue el que mejor recogía la variedad ambiental de España y Portugal continental, discriminando lo templado de lo mediterráneo y, dentro de estos grandes ambientes, la va-

El riesgo de invasión derivado de la disimilitud ambiental y biogeográfica es mayor en el interior de la península ibérica, coincidiendo con las zonas sometidas a la variante más continental del clima mediterráneo, que en la periferia y los archipiélagos, donde el ambiente climático es menos contrastado

riante continental frente a la oceánica, y la seca frente a la húmeda. Solo uno de los doce ambientes identificados está ausente en España y Portugal continental.

Disimilitud ambiental

Los ambientes climáticos del mundo encuentran, en conjunto, una mayor similitud con los ambientes mediterráneo-continentales identificados en España y Portugal continental frente a los ambientes más oceánicos (Fig. 2). Además, entre todos los ambientes climáticos reconocidos en España y Portugal continental, los mediterráneo-continentales —que en el territorio estudiado ocupan el interior peninsular (Fig. 1)— son los que se encuentran mejor representados en el mundo. Por el contrario, los ambientes más oceánicos, tanto atlánticos como mediterráneos —que en el territorio estudiado se localizan en la periferia peninsular y en los archipiélagos (Fig. 1)— se encuentran menos representados en el resto del mundo (Fig. 2).

Riesgo de invasión derivado de la disimilitud ambiental y la diversidad beta

El nivel y distribución del riesgo de invasión en España y Portugal continental derivado de la disimilitud am-

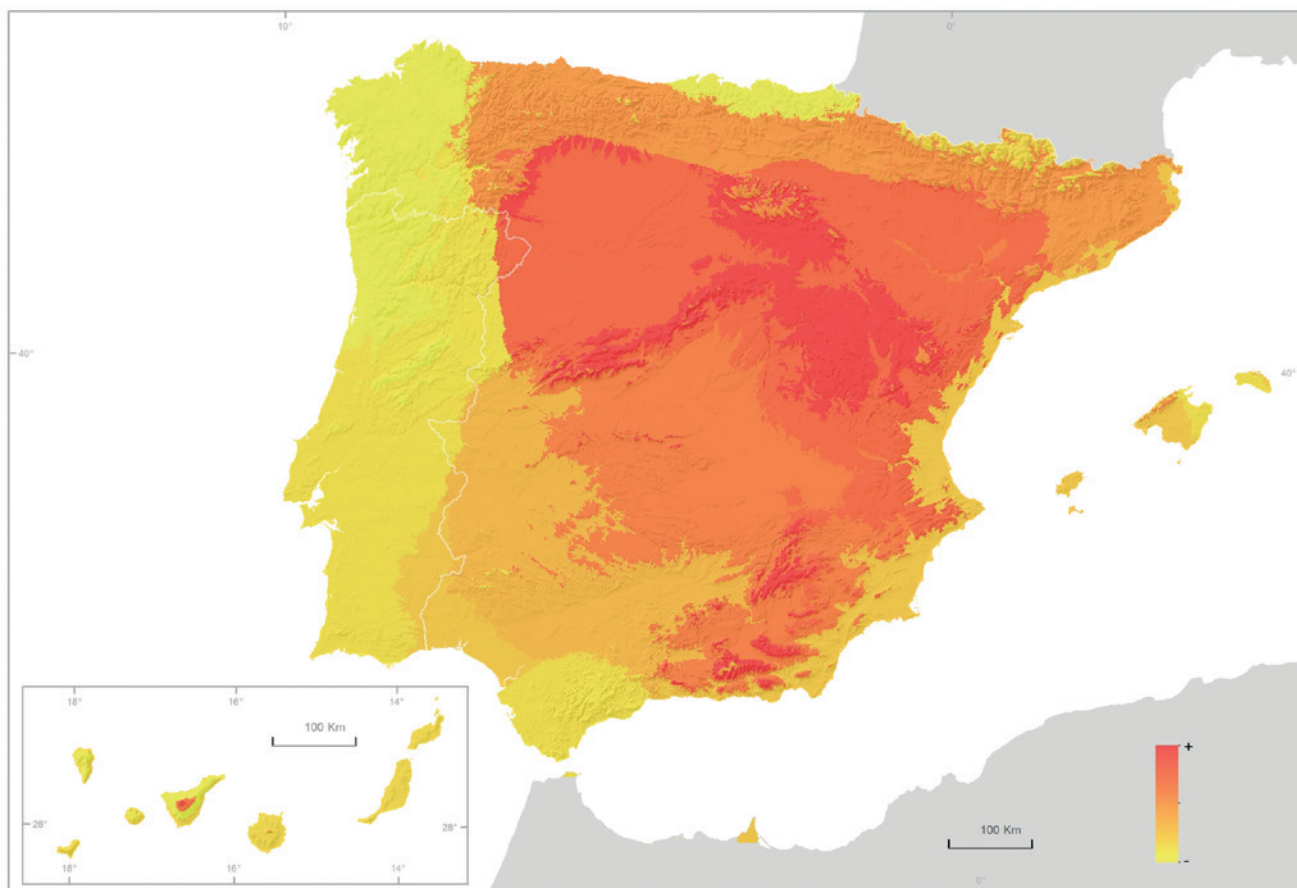


Fig. 3. Riesgo de invasión por especies exóticas en España y Portugal continental derivado de la disimilitud ambiental y la diversidad beta.

biental y la diversidad beta se muestra en la figura 3. El riesgo de invasión es mayor en zonas interiores de la península ibérica que en zonas periféricas, resultado que contrasta con la distribución geográfica actual de la riqueza de plantas vasculares (Gassó et al., 2009; Aedo et al., 2017) y de aves (Chiron et al., 2009) exóticas, fundamentalmente periférica e insular. Esto sugiere que el ambiente climático no es el principal responsable del patrón geográfico que presentan las invasiones en España y Portugal continental.

Aunque no hay duda, en un plano teórico al menos, de que el ambiente juega un papel importante en el establecimiento y expansión de las especies exóticas, ejerciendo de filtro de las especies que pueden establecerse en un nuevo territorio (Thuiller et al., 2005), cada vez son más los estudios que rebajan el papel del ambiente como mediador en el proceso de invasión frente a otros factores, fundamentalmente antrópicos (Chiron et al., 2009; Pyšek et al., 2010; Essl et al., 2010; Dawson et al., 2017), y los que apuntan a la interacción entre distintos factores por encima del papel individual de cada uno de ellos (Catford et al., 2009; Roura-Pascual et al., 2011; Castro-Díez et al., 2011; González-Moreno et al., 2014). Los resultados preliminares que estamos obteniendo al añadir la presión de propágulo y la perturbación señalan en esta misma dirección.

CONCLUSIONES

El riesgo de invasión derivado de la disimilitud ambiental y biogeográfica es mayor en el interior de la península ibérica, coincidiendo con las zonas sometidas a la variante más continental del clima mediterráneo, que en la periferia y los archipiélagos, donde el ambiente climático es menos contrastado. De la comparación con la distribución actual de especies exóticas puede concluirse que el ambiente no es el principal regidor de la configuración geográfica de las invasiones biológicas en España y en Portugal continental, al menos en el medio terrestre y a escala nacional o regional. La aproximación propuesta permite alcanzar un nivel de genera-

lización y de resolución en la estimación del riesgo de invasión superior al que, por el momento, es capaz de

De la comparación con la distribución actual de especies exóticas puede concluirse que el ambiente no es el principal regidor de la configuración geográfica de las invasiones biológicas en España y en Portugal continental

conseguirse con los modelos dependientes de las especies. Esta ventaja puede aprovecharse para establecer un marco espacial integrador en la gestión preventiva de las invasiones biológicas.

NOTA

Este trabajo se realiza en el marco de los proyectos *CrossNature* (*Cross Harmonization & Exploitation of NATURE DataSets*), cofinanciado por la Comisión Europea mediante el programa CEF (*Connecting Europe Facility*) bajo el acuerdo de concesión n.º INEA/CEF/ICT/A2016/1297261 y *DataBio* (*Data-Driven Bioeconomy*), financiado por el Programa de Investigación e Innovación de la Unión Europea 'Horizonte 2020' bajo el acuerdo de concesión n.º 732064.

REFERENCIAS

- Aedo C, Buira A, Medina L et al. 2017. The Iberian vascular flora: richness, endemism and distribution patterns. En: Loidi J. (ed.) *The vegetation of the Iberian Peninsula*, 1, pp. 101–130. Springer.
- Campos JA, García-Baquero G, Caño L et al., 2016. Climate and human pressure constraints co-explain regional plant invasion at different spatial scales. *PLoS ONE* 11: e0164629.
- Castro-Díez P, Godoy O, Saldaña A et al. 2011. Predicting invasiveness of Australian acacias on the basis of their native climatic affinities, life history traits and human use. *Divers. Distrib.* 17: 934–945.
- Catford JA, Jansson R, Nilsson C. 2009. Reducing redundancy in invasion ecology by integrating hypotheses into a single theoretical framework. *Divers. Distrib.* 15: 22–40.
- Chiron F, Shirley S, Kark S. 2009. Human-related processes drive the richness of exotic birds in Europe. *P. R. Soc. B* 276: 47–53.
- Dyer EE, Cassey P, Redding DW et al. 2017. The global distribution and drivers of alien bird species richness. *PLoS Biol.* 15: e2000942.
- Eschtruth AK, Battles JJ. 2009. Assessing the relative importance of disturbance, herbivory, diversity, and propagule pressure in exotic plant invasion. *Ecol. Monogr.* 79: 265–280.
- Essl F, Dullinger S, Rabitsch W et al. 2010. Socioeconomic legacy yields an invasion debt. *P. Natl. Acad. Sci. USA* 108: 203–207.
- Gallardo B, Zieritz A, Aldridge DC. 2015. The importance of the human footprint in shaping the global distribution of terrestrial, freshwater and marine invaders. *PLoS ONE* 10: e0125801.
- Gassó N, Sol D, Pino J et al. 2009. Exploring species attributes and site characteristics to assess plant invasions in Spain. *Divers. Distrib.* 15: 50–58.
- González-Moreno P, Diez JM, Ibáñez I et al., 2014. Plant invasions are context dependent: multiscale effects of climate, human activity and habitat. *Divers. Distrib.* 20: 720–31.
- Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL et al. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: 1965–1978.
- Keil P, Schweiger O, Kühn I et al. 2012. Patterns of beta diversity in Europe: the role of climate, land cover and distance across scales. *J. Biogeogr.* 39: 1473–1486.
- Leung B, Roura-Pascual N, Bacher S et al. 2012. TEASing apart alien species risk assessments: a framework for best practices. *Ecol. Letters* 15: 1475–1493.
- Lockwood JL, Cassey P, Blackburn TM. 2009. The more you introduce the more you get: the role of colonization pressure and propagule pressure in invasion ecology. *Divers. Distrib.* 5: 904–910.
- Pyšek P, Jarošík V, Hulme PE et al., 2010. Disentangling the role of environmental and human pressures on biological invasions across Europe. *P. Natl. A. Sci. USA* 107: 12157–12162.
- Roura-Pascual N, Hui C, Ikeda T et al. 2011. The relative roles of climatic suitability and anthropogenic influence in determining the pattern of spread in a global invader. *P. Natl. A. Sci. USA* 108: 220–225.
- Soininen J, Hillebrand H. 2007. Disentangling distance decay of similarity from richness gradients: response to Baselga (2007). *Ecography* 30: 842–844.
- Thuiller W, Richardson DM, Pyšek P et al., 2005. Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale. *Glob. Change Biol.* 11: 2234–2250.