

era obtener un mínimo de partida suficientemente consensuado entre el Estado y las Comunidades Autónomas. Este mínimo pasaba por evitar discutir sobre el contenido de las listas de especies, ciñéndolas a lo estrictamente necesario: la continuidad del máximo posible de especies del CNEA y la incorporación de las que estaban sujetas a normas internacionales de protección. El Real Decreto establece los mecanismos por los que puede solicitarse el incremento de especies del LESRPE, lo que en cuestión de flora silvestre pasaría al menos por la solicitud de protección para todas las especies que en la Lista Roja nacional (Moreno, 2008) alcanzan las categorías más elevadas (al menos los niveles CR y EN de UICN), así como las de la categoría EW.

3) Dudas taxonómicas: Como ya ocurriera en el pasado con otras normas españolas sobre especies protegidas, siguen existiendo algunas lagunas de interpretación, e incluso algunos errores sistemáticamente arrastrados de normas anteriores o de rango superior. Un avance sustancial sobre el CNEA es que en el nuevo Real Decreto los nombres de las especies van sucedidos de protólogo simplificado, indicando el autor de la combinación taxonómica -su ausencia ya daba lugar a dudas, como las que planteaba por ejemplo *Asplenium hemionitis*-; también se ha avanzado en la concreción de casos que daban lugar a dudas, como el de *Euphorbia nevadensis*, para el que esta vez ya consta con claridad que el objeto de protección es solo la subespecie

nevadensis. Sin embargo, subsisten errores que vienen siendo indicados por la comunidad científica desde hace ya décadas, pero que quedan reflejados en el Real Decreto por imperativo jurídico -al formar parte de las listas de la Directiva de Hábitats y previamente del Convenio de Berna-; parece que nadie ha sido capaz de corregir en más de 25 años de rodadura de las normativas de protección el caso ya clásico de *Centaureum rigualii*, una mera forma de *C. quadrifolium*, cuya inconsistencia taxonómica ya fue demostrada por Bayer & López González (1991), y reflejada en la ficha FL/34 (MMA, 2001) del propio CNEA/CEEA.

Además de todo lo anterior, y como principal repercusión, hay que señalar su evidente afectación al contenido y efectividad de los diferentes Catálogos autonómicos de especies amenazadas, que fueron desarrollándose al amparo de la ya derogada Ley 4/1989. Salvo en aquellos casos de CC.AA. que habían aprobado Leyes donde al menos se reflejaban las categorías de la 4/1989, las correspondientes administraciones deberán modificar sus listados eliminando aquellas categorías del CNEA que ya no existen en el LESRPE, y transfiriendo sus especies a otros niveles. A su vez, incluso para el caso de CC.AA. que habían aprobado nuevos Catálogos ya adaptados a la Ley 42/2007 -p.ej. Cataluña y Comunidad Valenciana-, deberán revisarse sus contenidos para que ninguna especie quede en esas autonomías en un nivel de protección inferior al del LESRPE, o en su caso al del CEEA.

EMILIO LAGUNA LUMBRERAS

CIEF-Servicio de Biodiversidad de la Generalitat Valenciana. E-mail: laguna_emi@gva.es

Bibliografía

- Bayer, G. & G. López González (1991). "Centaureum barrelieroides" Pau y "C. rigualii" Esteve ("Gentianaceae"), ¿dos endemismos mediterráneos de área muy limitada?. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 49: 57-65.
- BOE (1995). Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. *Boletín Oficial del Estado* (BOE) 310 (28/12/1995): 37310-37333.
- BOE (2007). Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. *Boletín Oficial del Estado* (BOE) 299 (14/12/2007): 51275-51327.
- BOE (2011). Real Decreto 139/2011, de 4 de febrero, para el desarrollo del Listado de Especies en Régimen de Especial Protección y del Catálogo Español de Especies Amenazadas. *Boletín Oficial del Estado* (BOE) 46 (23/02/2011), sec. I: 20912-20951.
- Klemm, C. de (1997). *Comparative analysis of the effectiveness of legislation for the protection of wild flora in Europe*. Nature and Environment series nº 88. Consejo de Europa, Estrasburgo.
- Laguna, E. (2008). La nueva Ley del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad: Repercusiones sobre la conservación de la flora silvestre. *Conservación Vegetal* 12: 11-13.
- MMA (2001). FL34: *Centaureum rigualii* Esteve, *Anales Inst. Bot. Cavanilles* 23: 182 (1968). Ficha informativa del Catálogo Español de Especies Amenazadas. Ministerio de Medio Ambiente. Accedido en internet en abril de 2011 en: www.mma.es/secciones/biodiversidad/especies_amenazadas/catalogo_especies/flora/pdf/FL34.pdf
- Moreno, J.C., coord. (2008). *Lista Roja 2008 de la Flora Vasculosa Española / 2008 Red List of Spanish Vascular Flora*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- UICN (2001). *Categorías y criterios de la Lista Roja de la UICN. Versión 3.1*. Comisión de Supervivencia de Especies, UICN, Gland y Cambridge.

Impactos del cambio climático sobre la flora española

Entre los años 2008 y 2010 se realizaron dos proyectos por encargo del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino cuyo objetivo general fue común: evaluar posibles impactos y predecir la situación futura de taxones de la flora y fauna españolas ante diversos escenarios de cambio climático global. En este artículo presentamos los datos básicos del proyecto de flora, realizado por encargo de la Oficina Española de Cambio Climático. El proyecto de fauna, encargado por la Dirección Ge-

neral de Medio Natural y Política Forestal, fue realizado en el Museo Nacional de Ciencias Naturales.

El planteamiento de ambos proyectos ha sido similar y puede resumirse en cuatro puntos:

- Determinación de la distribución espacial de los taxones analizados en la actualidad a partir de bases de datos existentes.

- Construcción de modelos de distribución potencial (MDP) para cada taxón en función del clima reciente (determinación de “nichos climáticos”).
- Proyección de dichos modelos al futuro de acuerdo con varias combinaciones de escenarios, modelos climáticos y horizontes temporales.
- Análisis de las diferencias entre las distribuciones reales y potenciales, tanto actuales como futuras.

El ámbito del estudio sobre la flora ha sido la superficie de España peninsular excluyendo, por tanto, las islas Baleares y Canarias, así como Ceuta y Melilla. Se ha trabajado tanto a nivel individual (especies o subespecies), como a nivel global (síntesis indicadora de riqueza específica y grupos taxonómicos más amplios).

Los análisis han permitido, además de un diagnóstico específico, comparar situaciones actuales y futuras considerando alternativas diferentes, hacer estadísticas sobre diversos espacios (CC.AA., espacios protegidos), elaborar indicadores de vulnerabilidad y proponer líneas de actuación, adaptación e investigación.

Datos de flora y clima

Los datos de flora que hemos utilizado provienen de dos fuentes diferentes: el Mapa Forestal de España (MFE) y el Atlas y Libro Rojo de Flora Vasculosa Amenazada. A partir del MFE se seleccionaron 75 especies arbóreas y arbustivas y, respecto a la flora amenazada, otros 145 taxones, descartando aquéllos con muy pocas presencias ya que los modelos son muy poco fiables en esos casos.

Finalmente, los datos de clima reciente y las proyecciones estadísticas regionalizadas para el futuro provienen de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que nos los proporcionó a nivel de estación meteorológica.

Clima reciente y futuro

La AEMET nos proporcionó información climática histórica de 2.173 estaciones pluviométricas y 973 termométricas. Con estos datos se elaboraron mapas climáticos para cada mes desde 1961 hasta 2007 para tres variables: temperaturas medias de las máximas, medias de las mínimas y precipitación. Para el proyecto se hizo una síntesis representativa del periodo de referencia 1961-1990 generando los mapas mes a mes de cada una de las tres variables.

Respecto al clima futuro, las proyecciones de 1.830 estaciones termométricas y 5.063 pluviométricas nos permitieron construir mapas equivalentes a los de clima reciente para varias combinaciones de escenarios, modelos y periodos futuros, en concreto:

- escenarios A2 y B2 del IPCC.
- modelos CGCM2 y ECHAM4.
- periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

En general, todas las combinaciones predicen incrementos de temperatura en las medias anuales aunque de distinta magnitud. Para el periodo 2041-2070, las subidas medias anuales de las mínimas están en el rango de 1,7 a 2,8 °C mientras que para las máximas están entre 2,2 y 3,9 °C para el mismo periodo. Veremos más adelante dónde pueden conseguirse resultados detallados.

Modelos de distribución potencial actual

Los modelos de distribución potencial (MDP) representan la idoneidad de cada punto del territorio para que un taxón exista en función de las características climáticas locales. Un MDP rela-

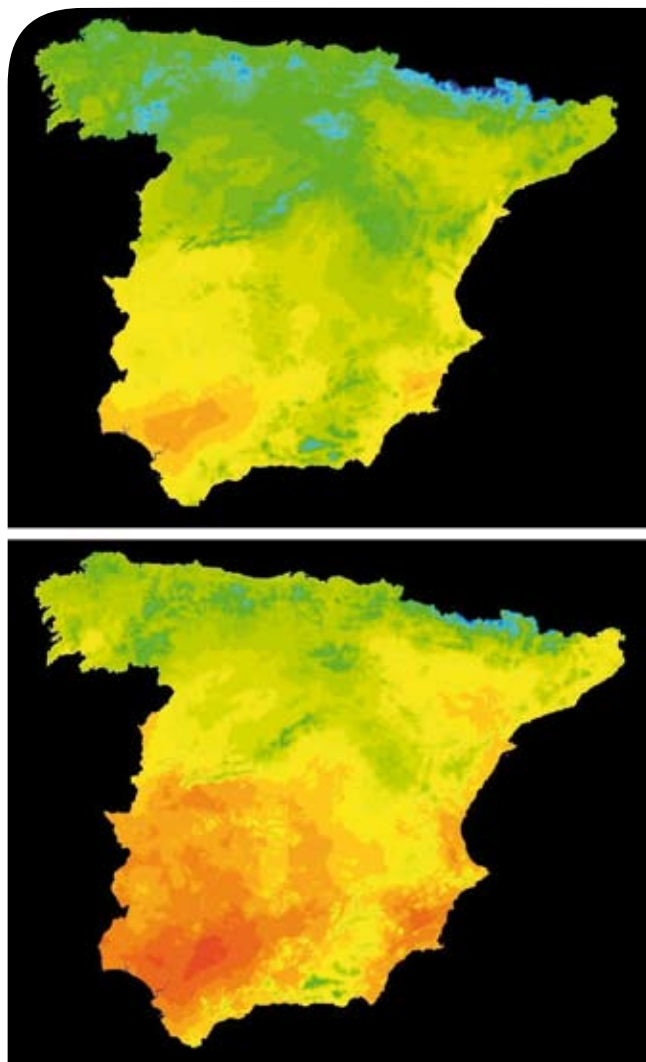


Figura 1. Evolución de la temperatura media anual de las máximas. Arriba, el mapa para el periodo 1961-1990, abajo el correspondiente al escenario A2, modelo CGCM2 para el periodo 2041-2070. La subida media es de 2,9 °C.

ciona la distribución geográfica del taxón con el clima e infiere la distribución potencial localizando todas las zonas que están incluidas en el “nicho climático” estimado. Ese nicho climático puede proyectarse al futuro para construir un modelo de las posibles consecuencias del cambio climático sobre la distribución de la planta.

Como resultado de los MDP obtenemos mapas con valores entre 0 (incompatible) y 1 (idóneo) y una amplia información sobre qué variables pueden actuar como factores limitantes (por ejemplo, las máximas de julio o una combinación de varias variables) en la distribución de la planta.

Modelos para el futuro

Determinado el “nicho climático” de una planta queda responder a preguntas como ¿qué pasaría si las temperaturas mínimas de enero bajarán 1 °C y las precipitaciones de marzo subieran 35 litros por metro cuadrado?

Los modelos futuros nos proporcionan respuestas mostrando cambios en la distribución potencial de las especies: unas verán su área potencial reducida, otras incrementada, en otras la zona adecuada cambiará de lugar, etc. La comparación entre los mapas de diferentes épocas orienta sobre el futuro de cada taxón ante diferentes condiciones de cambio climático. Lógicamente, la evolución de las áreas potenciales depende de las combinaciones de escenarios y modelos y del periodo que se analice.

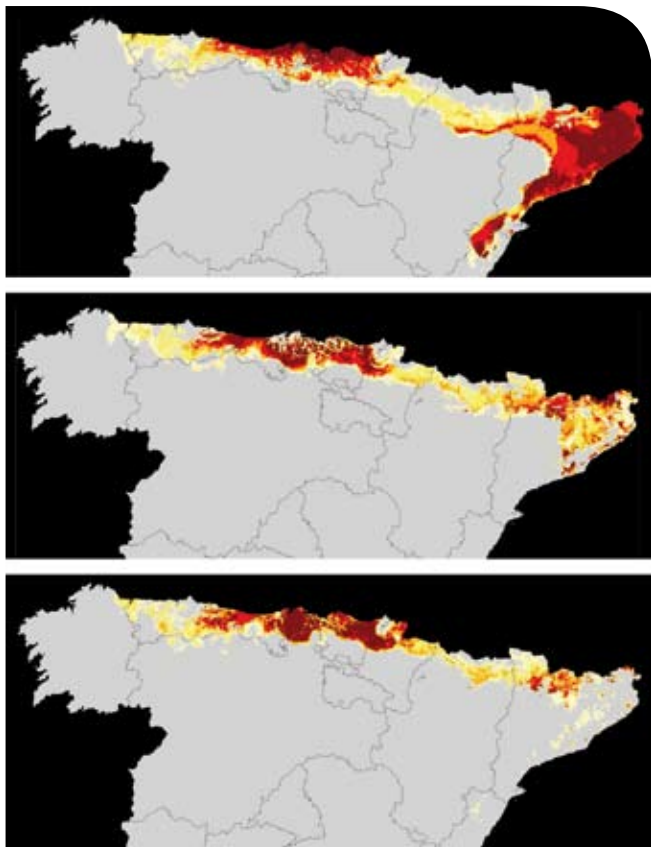


Figura 2. Distribución potencial de la alsina (*Quercus ilex* subsp. *ilex*) en la actualidad (arriba), y en el periodo 2041-2070 según el modelo CGCM2 para el escenario A2 (centro) y B2 (abajo). Observamos una reducción significativa de las áreas granates y rojas (idóneas), especialmente en la zona oriental del área de distribución. La reducción de área potencial prevista es del 50% y 44% respectivamente para este periodo y del 73 y 49% para el 2071-2100.

Fichas por taxón

El principal resultado, donde se sintetizan muchos de los análisis realizados, tiene el formato de una ficha para cada taxón. Estas fichas incluyen estadísticas sobre las superficies ocupadas en la actualidad, las potenciales actuales y futuras y sus intersecciones o solapamientos en cada periodo analizado. Asimismo, incluyen mapas con las distribuciones actuales y futuras junto con directrices sobre su conservación o medidas de adaptación propuestas, que son potencialmente útiles para los gestores en la planificación.

Análisis de vulnerabilidad

A partir de los resultados de los modelos se ha calculado un índice de vulnerabilidad que agrupa los taxones en las siguientes categorías:

- A—Crítica
- B—Muy alta
- C—Alta
- D—Mediana
- E—Leve
- F—Inexistente

Los valores de vulnerabilidad permiten detectar los taxones más sensibles, entre los cuales aparecen algunos que forman bosques o dehesas que representan una parte muy importante de la cubierta vegetal de la Península. La tabla siguiente resume los números básicos:

| Categoría | MFE | AFA |
|-----------|-----|-----|
| A | 8 | 70 |
| B | 9 | 6 |
| C | 12 | 4 |
| D | 23 | 5 |
| E | 11 | 8 |
| F | 12 | 52 |

Tabla 1. Taxones en cada categoría de vulnerabilidad (MFE: Mapa Forestal de España; AFA: Atlas y Libro Rojo).

En síntesis, de los taxones actualmente incluidos en el Libro Rojo, un 50% aparece en situación crítica a medio plazo. Las especies del Mapa Forestal de España se ven en su conjunto menos afectadas, aunque predomina una reducción significativa de la superficie potencial a medio siglo con especies en las categorías A o B como:

- *Abies pinsapo*
- *Abies alba*
- *Quercus ilex* subsp. *ilex*
- *Quercus petraea*
- *Quercus suber*

Entre las menos afectadas aparecen *Quercus robur*, *Pinus nigra* y *Chamaerops humilis*. En general, la reducción de las superficies forestales en el Sur peninsular es generalizada, mientras que en el Norte pueden mantenerse refugios en zonas progresivamente más altas de las montañas.

Riqueza específica

La combinación de MDP permite elaborar mapas de riqueza específica potencial. En este proyecto se han utilizado los taxones del Mapa Forestal de España con el objetivo de incluir las especies que conforman la estructura de la vegetación arbórea en la Península. No es un mapa de biodiversidad ni un indicador directo del "valor ecológico" sino que debe ser interpretado pensando en el significado del subconjunto de especies a partir de las cuales se ha construido. Con el mismo criterio se han construido los mapas futuros para poder evaluar la evolución en el tiempo.

Medidas de adaptación

Se ha propuesto la elaboración de unos planes de adaptación dentro de las líneas de reducción de la presión humana sobre los ecosistemas y el refuerzo de estos favoreciendo la regeneración y mejora de su estado; en concreto:

- Reducción de la fragmentación de los bosques mediante el análisis de la vegetación y usos del suelo en las zonas de alta idoneidad para el bosque, la delimitación de las parcelas que combinen alta idoneidad con vegetación seral y un plan de actuaciones para favorecer la regeneración natural en las parcelas elegidas.
- Adaptación de nuevas zonas potenciales mediante la identificación de zonas futuras idóneas y la preparación de planes de restauración artificial o asistida para revertir la degradación de origen antrópico.
- Recolección de germoplasma en un plan coordinado a nivel nacional.
- Planes de actuación supraespecíficos (diseñados para atender a ecosistemas en su globalidad):
 - Sobre los *Quercus*.
 - Sobre los *Juniperus*.
 - Sobre los bosques de ribera.
 - Sobre los bosques de *Fagus sylvatica* y *Abies alba*.

Cuando ha sido posible, se han propuesto medidas a nivel específico y se han reflejado en las fichas.

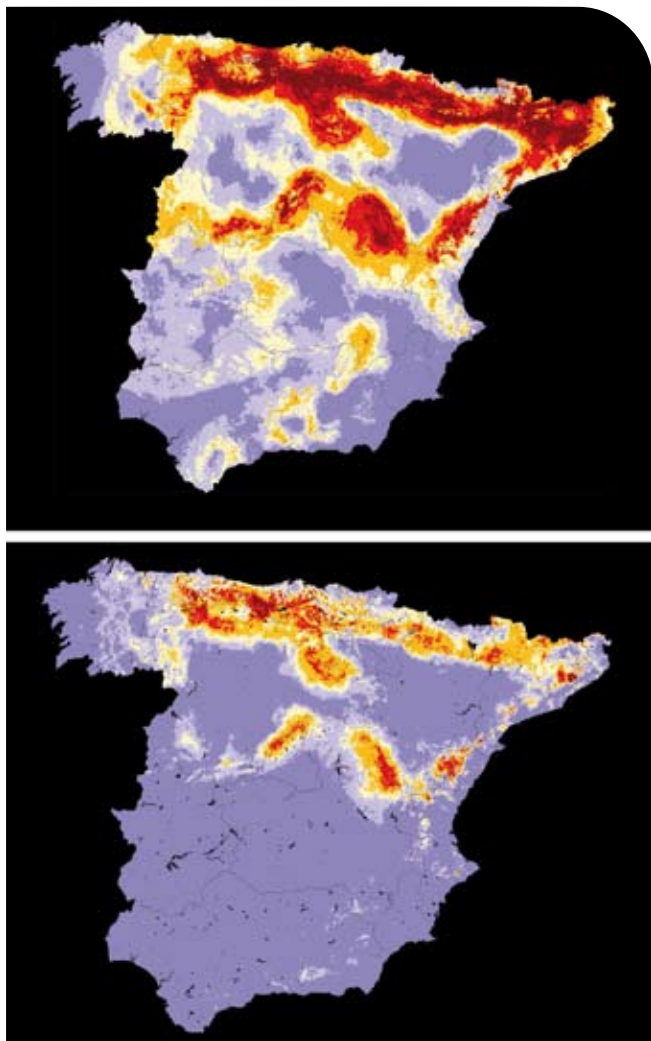


Figura 3. Riqueza específica potencial en la actualidad y riqueza modelizada para el periodo 2041-2070, escenario B2, modelo CGCM2.

Conclusiones generales

Una cuarta parte de las especies del MFE muestran vulnerabilidades muy altas o críticas, con reducción drástica de sus superficies actuales en un futuro a medio plazo (mediados de siglo). De las especies amenazadas (en peligro actualmente en menor o mayor medida) casi la mitad de las consideradas en el proyecto ve la desaparición como futuro probable. Como conclusión del trabajo se plantea la absoluta necesidad de una planificación adecuada, efectiva y decidida para hacer frente a estos posibles efectos.

Las proyecciones prevén que la vegetación deberá adaptarse en un futuro próximo a condiciones más cálidas y, en algunas zonas, más secas. Desconocemos la capacidad de adaptación de las especies a estas nuevas condiciones, pero es seguro que nuestros bosques resistirán mejor cuando más extensos sean y menos fragmentados estén.

En cualquier caso, se hace imprescindible la elaboración de planes para cumplir dos objetivos primordiales: la reducción de la fragmentación de los bosques actuales y la potenciación de su extensión a áreas vecinas adecuadas. Hoy esto es posible en muchas zonas donde los usos ganaderos han desaparecido o se han reducido sustancialmente.

Las actuaciones futuras deben plantearse a escala detallada y en planes coordinados, tanto a corto plazo como a medio, en una visión que incluya las próximas tres o cuatro décadas. Son

planes ambiciosos, sin duda, pero no hay otro momento para llevarlos adelante. Tal vez algunos de nuestros bosques podrían, si hay tiempo, condiciones y voluntad para ello, utilizar zonas adecuadas hoy no ocupadas y mantener o incluso aumentar sus superficies actuales reales.

Interpretación de los modelos

En ocasiones los modelos no son capaces de explicar la distribución de la especie con sólo datos climáticos. En este proyecto sólo se han presentado los que han mostrado buenos ajustes. También es importante destacar que la calidad y fiabilidad de los modelos depende de factores con problemas a veces insuperables. Por ejemplo, es importante que el área ocupada actualmente sea representativa, algo que en la península Ibérica no suele pasar ya que la intervención humana ha sido muy intensa. También es necesario decir que los modelos de especies raras deben ser interpretados con mucha precaución porque se basan en pocas presencias. Por este motivo, deben considerarse menos fiables y más inestables que los modelos especies forestales, que se basan en muestras mucho mayores.

Respecto a los cambios futuros, no conocemos la respuesta real que tendrá la vegetación ante situaciones climáticas cambiantes. Es posible que exista una capacidad adaptativa que actualmente no es evidente, lo que aliviaría los efectos del cambio climático. A pesar de estos problemas, los MDP son herramientas prospectivas poderosas que integran gran cantidad de datos estableciendo relaciones objetivas entre especies y clima. Aunque se debe ser crítico y consciente de sus incertidumbres, los MDP se están usando ampliamente y sus resultados son útiles como indicadores de riesgo futuro y para establecer prioridades mediante los índices de vulnerabilidad. No existen actualmente métodos alternativos con mayores garantías de fiabilidad.

Difusión en Internet

Uno de los objetivos del proyecto era poner a disposición pública, sin limitaciones, toda la información posible sobre datos, métodos y resultados. Para cumplirlo hemos implementado una serie de aplicaciones web que se describen a continuación:

- Wiki del proyecto con acceso al texto completo del informe, estadísticas, fichas y parámetros de los modelos: <http://secad.unex.es/wiki/libroOECC>
- Nodo IDE basado en Geonetwork para la descarga de datos: mapas climáticos y modelos actuales y futuros en formato digital y metadatos normalizados ISO 19115/19139. <http://ide.unex.es/>
- Tracker para la descarga masiva mediante el protocolo BitTorrent (P2P). <http://158.49.96.156:6969/tracker/>
- Base de conocimiento con la descripción de todos los datos y la forma de localizarlos en Geonetwork y en el tracker. Se incluyen otros datos utilizados en modelización como modelos digitales de elevaciones, modelos de insolación para diferentes épocas del año, etc. <http://secad.unex.es/conocimiento>

Próximamente se editará el proyecto en formato libro, tanto convencional como en PDF. Todos los documentos y datos están sujetos a una licencia Creative Commons que permite su libre descarga, uso y redistribución con el único requisito de citar las fuentes y compartir los resultados de una forma similar.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por la Oficina Española de Cambio Climático (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).

ÁNGEL M. FELICÍSIMO¹, JESÚS MUÑOZ², CARLOS J. VILLALBA¹
Y RUBÉN G. MATEO³

1. Universidad de Extremadura. E-mail: amfeli@unex.es. 2. Real Jardín Botánico (CSIC). 3. Universidad de Castilla-La Mancha.

Bibliografía

- Araújo, M.B. & M. New (2007). Ensemble forecasting of species distributions. *Trends in Ecology and Evolution* 22: 42-47.
- Araújo, M.B. & A. Guisan (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33, 1677-1688.
- Austin, M. (2007). Species distribution models and ecological theory: A critical assessment and some possible new approaches. *Ecological Modelling* 200: 1-19.
- Elith, J. & L. Leathwick (2009). Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Reviews for Ecology, Evolution and Systematics* 40: 677-697.
- Elith, J., C.H. Graham, R.P. Anderson, M. Dudík, S. Ferrier, A. Guisan, R.J. Hijmans, F. Huettmann, J.R. Leathwick, A. Lehmann, J. Li, L.G. Lohmann, B.A. Loiselle, G. Manion, C. Moritz, M. Nakamura, Y. Nakazawa, J.M. Overton, A.T. Peterson, S.J. Phillips, K. Richardson, R. Scachetti-Pereira, R.E. Schapire, J. Soberón, S. Williams, M.S. Wisz & N.E. Zimmermann (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Fielding, A.H. & J.F. Bell (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation* 24: 38-49.
- Guisan, A. & W. Thuiller (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8: 993-1009.
- Guisan, A. & N.E. Zimmermann (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135: 147-186.
- Jiménez-Valverde A., J.M. Lobo & J. Hortal (2008). Not as good as they seem: the importance of concepts in species distribution modelling. *Diversity and Distributions* 14: 885-890.
- Pearson, R.G., W. Thuiller, M.B. Araújo, E. Martínez-Meyer, L. Brotons, C. McClean, L. Miles, P. Segurado, T. P. Dawson & D.C. Lees (2006). Model-based uncertainty in species range prediction. *Journal of Biogeography* 33: 1704-1711.

Conservación *ex situ* en el Real Jardín Botánico, CSIC



Atropa baetica Willk. cultivada en el Real Jardín Botánico de Madrid-CSIC
(Foto: Unidad de Horticultura-RJB-CSIC)

El Real Jardín Botánico, CSIC, desde su fundación en 1755 ha participado activamente en el conocimiento y conservación *ex situ* de la biodiversidad. Desde su origen ha desarrollado una intensa labor de investigación, que queda reflejada en la actualidad mediante sus cuatro líneas de investigación: Sistemática de Plantas Vasculares, Biología Evolutiva de Plantas: Patrones, Procesos y Mecanismos, Hongos y Briófitos: Biodiversidad y Biología de la Conservación y Ecología, Conservación de Macrófitos Acuáticos y Cambio Global.

Pero la labor en investigación y conservación de la biodiversidad en una institución tan antigua como el RJB-CSIC no se podría entender, ni realizar, sin sus colecciones de herbarios, semillas y plantas vivas. Todas ellas sirven de apoyo en inves-

tigaciones científicas, conservación, exhibición y educación, reflejando una parte importante de la biodiversidad regional y global, y constituyendo una fuente de referencia en todos los aspectos de la ciencia.

El RJB-CSIC mantiene una colección de plantas vivas de más de 5.000 especies diferentes, distribuidas en 8 hectáreas de extensión y dos invernaderos de exhibición. En 1985 esta colección comenzó a informatizarse, existiendo en la actualidad una base de datos con más de 22.500 registros, incluyendo ejemplares vivos y muertos. Durante estos 25 años se ha acumulado una gran cantidad de datos sobre multiplicación, control de plagas y enfermedades, manejo de riegos sobre los ejemplares cultivados y causa de las bajas. Estos datos generan una abundante infor-