



Vicia pyrenaica Pourr. (Foto: L. Giménez Benavides)

4. Diagnóstico de la situación actual

Análisis de diversidad

En términos de «riqueza de especies», los estudios de diversidad de PSC han estado, en su mayoría, encaminados a identificar zonas de alta concentración de diversidad de taxones para facilitar la priorización de lugares potenciales para su conservación, ya sea a nivel global, regional o nacional. La cuenca Mediterránea está considerada globalmente un punto caliente de diversidad vegetal (hotspot)⁹¹ y es uno de los centros de diversidad identificados por Vavilov⁹². De acuerdo con estudios recientes, también alberga la mayor riqueza del mundo de PSC asociados a cultivos mayoritarios^{93,94}, hasta 84 especies distintas de PSC priorizados a nivel global se pueden encontrar en celdas de 25 km². Por su parte, Bilz *et al*⁹⁵ colocaron a España entre los cinco puntos calientes de PSC más importantes de Europa, destacando la alta tasa de endemismos, concentrados mayoritariamente en las Islas Canarias y Baleares. Además, también en nuestro país, Rubio Teso *et al* analizaron la distribución de la diversidad de 510 especies silvestres nativas, amenazadas (CR o EN) o casi amenazadas (NT)⁹⁷ y emparentadas con cultivos alimentarios, forrajeros/pastos, ornamentales e industriales/otros usos. El estudio pone de manifiesto la existencia de 14 hotspots repartidos por el territorio peninsular e insular, de los cuales dos lugares en Navarra, uno en Gerona y otro en Córdoba concentrarían el mayor número de especies, entre 77 y 79. No obstante, la ubicación de estos puntos depende estrechamente del conjunto de especies de PSC consideradas y de los datos corológicos de calidad que estén disponibles para las especies.

Este tipo de análisis de diversidad pone de manifiesto la riqueza de taxones de PSC en un territorio. Sin embargo, a la hora de valorar la utilidad de los PSC en la mejora genética de los cultivos resulta indispensable analizar la diversidad genética existente dentro de cada especie (intraespecífica),

⁹¹ Myres N, Mittermeier R, Mittermeier C, Fonseca G & Kent J (2000) Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853-858.

⁹² Vavilov NI (1951) The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants: selected writings of N.I. Vavilov (translated by Starr Chester). *Chronica Botanica* 13, 364.

⁹³ Vincent H, Amri A, Castañeda-Álvarez N, Dempewolf H, Dulloo E, Guarino L, Hole D, Mba C, Toledo A & Maxted N (2019) Modeling of crop wild relative species identifies areas globally for in situ conservation. *Communications Biology* 2, 136.

⁹⁴ Castañeda-Álvarez N, Khoury C, Achicanoy H, Bernau V, Dempewolf H, Eastwood R, Guarino L, Harker R, Jarvis A, Maxted N, Müller J, Ramirez-Villegas J, Sosa C, Struik P, Vincent H & Toll J (2016) Global conservation priorities for crop wild relatives. *Nature Plants* 2, 16022.

⁹⁵ Bilz M, Kell S, Maxted N & Lansdown RV (2011) European Red List of Vascular Plants. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

⁹⁶ Rubio Teso ML, Iriondo JM, Parra-Quijano M & Torres E (2014) Report for National Strategy for the conservation of crop wild relatives of Spain.

⁹⁷ Según los criterios UICN.

como fuente de rasgos de interés en agronomía (ej. resistencia a plagas y enfermedades o la tolerancia a condiciones edafoclimáticas extremas). El análisis de la diversidad genética de las poblaciones se lleva a cabo mediante el empleo de técnicas moleculares, como ha sido el caso de la utilización de marcadores AFLP en poblaciones de diferentes PSC en el Reino Unido⁹⁸ o de microsatélites en poblaciones de *Patellifolia patellaris* (Moq.) A.J. Scott, Ford-Lloyd & J.T. Williams, *P. procumbens* (C. Sm.) A.J. Scott, Ford-Lloyd & J.T. Williams y *P. webbiana* (Moq.) A.J. Scott, Ford-Lloyd & J.T. Williams (PSC de la remolacha) en la Península Ibérica y archipiélagos de la Macaronesia⁹⁹ y de *Apium graveolens* L. subsp. *graveolens* (PSC del apio) en Alemania¹⁰⁰. No obstante, hay que tener en cuenta que estas aproximaciones moleculares analizan por lo general la diversidad genética en marcadores neutrales no sometidos a la selección natural; mientras que, la diversidad genética de interés de los PSC se corresponde con aquella que contribuye a la obtención de rasgos fenotípicos de interés agronómico, en los que la selección natural juega un papel esencial. En este sentido, existen estudios que indican que los patrones de diversidad genética asociados a marcadores neutrales no tienen por qué corresponderse con aquellos vinculados a rasgos funcionales^{101,102}. De forma alternativa, y teniendo especialmente en cuenta la ausencia de recursos para llevar a cabo estudios genéticos de forma extensiva sobre poblaciones representativas del área de distribución de cientos de especies, los métodos de representatividad ecogeográfica (método ecogeográfico¹⁰³, en adelante), se han mostrado útiles para estimar la diversidad genética potencial de las especies basándose en la relación categoría ecogeográfica-patrón genético¹⁰⁴ (Figura 6) (ej. análisis a 122 PSC alimentarios en España¹⁰⁵).

La cuenca Mediterránea alberga la mayor riqueza del mundo de PSC asociados a cultivos mayoritarios"

⁹⁸ [Phttp://www.cropwildrelatives.org/conservation-toolkit/the-toolkit/diversity-analyses-genetic-data-analysis-of-priority-cwr/examples-and-applied-use/](http://www.cropwildrelatives.org/conservation-toolkit/the-toolkit/diversity-analyses-genetic-data-analysis-of-priority-cwr/examples-and-applied-use/)

⁹⁹ Frese L, Nachtigall M, Iriondo JM, Rubio Teso ML, Duarte MC, Pinheiro de Carvalho MAA (2018) Genetic diversity and differentiation in *Patellifolia* (Amaranthaceae) in the Macaronesian archipelagos and the Iberian Peninsula and implications for genetic conservation programmes. *Genetic Resources and Crop Evolution* 66, 225-241.

¹⁰⁰ Frese L, Bönish M, Nachtigall M and Schirmak U (2018) Patterns of genetic diversity and implications for in situ conservation of wild celery (*Apium graveolens* L. subsp. *graveolens*).

¹⁰¹ Bekessy SA, Ennos RA, Burgman MA, Newton AC, Ades PK (2003) Neutral DNA markers fail to detect genetic divergence in an ecologically important trait. *Biological Conservation* 110, 267-275.

¹⁰² Holderegger R, Kamm U & Gugerli F (2006) Adaptive vs. neutral genetic diversity: implications for landscape genetics. *Landscape Ecology* 21, 797-807.

¹⁰³ Parra-Quijano M, Iriondo JM & Torres E (2012) Ecogeographical land characterization maps as a tool for assessing plant adaptation and their implications in agrobiodiversity studies. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59, 205-217.

¹⁰⁴ El método se basa en la premisa de que diferentes factores ambientales generan diferentes presiones de selección que afectan a la diversidad genética de valor adaptativo en las poblaciones. De esta forma, identifica áreas de similares características ambientales (categorías ecogeográficas) que se asocian con diferentes patrones de adaptación, creando los denominados mapas ELC (Ecogeographical Land Characterization maps) con ayuda de SIG (Sistemas de Información Geográfica).

¹⁰⁵ <https://pgrsecurespain.weebly.com/crop-wild-relatives-in-spain-ndash-gap-analysis-for-the-in-situ-conservation-assessment.html>

El empleo de estas técnicas, moleculares y ecogeográficas, permite apoyar actuaciones eficientes de conservación *in situ* y *ex situ* que tengan en cuenta la diversidad genética con potencial para contener rasgos de interés para la mejora vegetal.

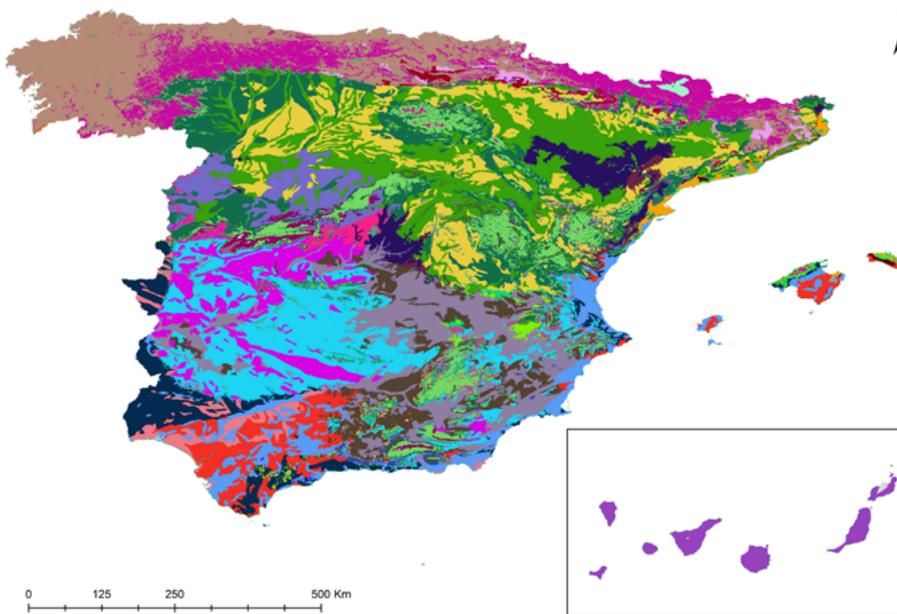


Figura 6. Ejemplo de mapa de caracterización ecogeográfica para España. Cada color se corresponde con una unidad ecogeográfica distinta, que reúne unas características particulares según criterios climáticos, edáficos y geofísicos. Las poblaciones de una misma especie que habitan en lugares correspondientes a distintas categorías ecogeográficas son más proclives a presentar una diferenciación genética de valor adaptativo entre ellas.

Evaluación del estado de conservación

Los PSC y PSUA, como cualquier especie silvestre en su hábitat natural, están expuestos a una serie de amenazas, consecuencia directa o indirecta de la actividad humana, principalmente. La intensificación de la agricultura y la ganadería, caracterizada por emplear prácticas poco o nada sostenibles con el mantenimiento de la biodiversidad asociada —sobrepastoreo, deposiciones de nitrógeno, monocultivo o uso de fertilizantes y productos fitosanitarios para el control de plagas, enfermedades y hierbas no deseadas nocivos para el medioambiente—, el desarrollo urbanístico, turístico y de recreo que favorecen la fragmentación, reducción y destrucción de hábitats, la introducción de especies invasoras, las actividades recreativas en la naturaleza, el desarrollo de las infraestructuras de transporte y el cambio climático son las mayores amenazas que ponen en riesgo la diversidad de estas especies^{106,107,108}. Además, en el caso de las PSUA, su sobreexplotación supone una amenaza añadida para la supervivencia de sus poblaciones naturales.

Para frenar la pérdida de PSC, PSUA y su diversidad genética es necesaria su conservación *in situ* y *ex situ*. La conservación *in situ* se refiere a la conservación de las poblaciones silvestres en sus hábitats naturales¹⁰⁹. Este tipo de conservación es particularmente importante para preservar la diversidad genética, de forma eficaz, de un número elevado de especies, sin frenar sus procesos evolutivos naturales, poniendo a disposición genes de adaptación útiles para la mejora de los cultivos¹¹⁰; por tanto, poniendo a disposición genes de adaptación útiles para la mejora de los cultivos y, de otro, un número elevado de especies de manera eficaz¹¹¹; además, también contribuye a mantener los servicios ecosistémicos de un territorio. Sin embargo, hasta el momento, la conservación *in situ* de PSC/PSUA no ha sido una prioridad. Por un lado, el sector medioambiental se ha centrado en la conservación de especies endémicas, raras o amenazadas

¹⁰⁶ Bilz M, Kell S, Maxted N & Lansdown RV (2011) European Red List of Vascular Plants. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

¹⁰⁷ Ford-Lloyd BV et al (2011) Crop wild relatives- undervalued, underutilized and under threat. *Bioscience* 61, 559-565.

¹⁰⁸ MAGRAMA 2015. Informe Nacional sobre el Estado de la Biodiversidad para la Alimentación y la Agricultura.

Elaborado para el Informe FAO sobre el Estado de la Biodiversidad para la Alimentación y la Agricultura en el Mundo. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid

¹⁰⁹ No debe confundirse con la conservación *in situ* referida a la conservación en granja de las variedades tradicionales.

¹¹⁰ Heywood VH & Dulloo ME (2005) *In situ* conservation of wild species: a critical review of best practices. IPGRI Technical Bulletin 11. IPGRI, Rome, Italy.

¹¹¹ Maxted N & Kell S (2009). Establishment of a global network for the *in situ* conservation of crop wild relatives: status and needs. FAO, Rome.

—si bien, algunas resultan ser PSC/PSUA— y, por otro lado, el sector agronómico ha puesto el foco en las plantas cultivadas. Por esta razón, la mayoría de los PSC/PSUA conservados *in situ* lo están de forma pasiva en las áreas protegidas en las que crecen, sin formar parte de sus planes de gestión y manejo, a menos que cuenten con protección legal y tengan diseñado un plan de acción. Algo similar sucede con la conservación *ex situ*. La recolección de material vegetal de PSC no ha sido una prioridad para los bancos de germoplasma, con algunas excepciones¹¹², y, por tanto, tienen poca o ninguna representación en las colecciones. En el caso de las PSUA en España, por ejemplo, su conservación *ex situ* también ha sufrido una falta de atención por parte de los bancos y las colecciones muestran carencias importantes asociadas a la falta de criterios de priorización, como son la intensidad de su uso directo o su relación con especies cultivadas¹¹³ —cumpliendo en este caso, además, un papel de PSC—.

A pesar de esta situación, afortunadamente ha habido progresos que marcan un antes y un después. Aunque todavía las iniciativas de conservación *in situ* y *ex situ*, tanto a nivel nacional como internacional, son escasas o inexistentes, cabe destacar hechos como la publicación en la lista roja europea del estado de conservación de 572 especies silvestres europeas emparentadas con cultivos de interés socioeconómico, de las cuales 283 se encuentran en territorio español¹¹⁴; hito que subraya, aún más, la relevancia que está tomando este grupo de plantas.

¹¹² Es el caso de bancos de germoplasma con grandes colecciones y tradición en la conservación *ex situ* de RFAA (ej. N.I. Vavilov Institute of Plant Genetic Resources, VIR) o especializados en cultivos mayoritarios y con una larga trayectoria en investigación en mejora vegetal, como el CIMMYT en maíz y trigo (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) o el IRRI en arroz (International Rice Research Institute).

¹¹³ Aguiriano E, Fajardo J, García R & De la Rosa L (2017) Representación de las plantas silvestres comestibles españolas en el Inventario de recursos fitogenéticos conservados *ex situ*, una situación que se debe mejorar. Huellas inéditas del VI Congreso Internacional de Etnobotánica (ICEB 2014), Córdoba, España.

¹¹⁴ Bilz M, Kell S, Maxted N & Lansdown RV (2011) European Red List of Vascular Plants. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

In situ

Según un estudio global, España ocupa el primer puesto de la lista de países con mayor número de lugares propuestos para conservar PSC en áreas protegidas

Desde una perspectiva global, el estudio más reciente sobre conservación de PSC identificó 150 sitios potenciales para la conservación *in situ* activa y en red de 829 especies silvestres emparentadas con 157 cultivos prioritarios para la seguridad alimentaria mundial¹¹⁵. España ocupa el primer puesto de la lista de países con mayor número de lugares propuestos en áreas protegidas, con 5 lugares clave para la conservación de 85 PSC en la provincia de Valencia; además, podría contribuir a la red global con la conservación de 74 PSC en 4 lugares identificados fuera de áreas protegidas en la provincia de Cantabria. Junto con España, otros 4 países europeos (Grecia, Italia, Austria y Turquía) se encuentran también en los primeros puestos entre los países con mayor número de lugares propuestos para conservar PSC en áreas protegidas.

A nivel nacional, el análisis realizado por Rubio Teso *et al* (2014)¹¹⁶ para evaluar el estado de conservación de 510 PSC nativos muestra que un 42% de las poblaciones conocidas se encuentran dentro de algún LIC/ZEC de la Red Natura 2000 (Red Natura, en adelante). Además, resulta importante mencionar que (i) un 7% de los PSC no tienen actualmente ninguna población conocida dentro de un LIC de la Red Natura, entre las que se encuentran parientes silvestres del espárrago, lechuga o remolacha y (ii) la diversidad genética del 58 % de las especies está insuficientemente conservada¹¹⁷. Adicionalmente, efectuaron un análisis de complementariedad¹¹⁸ en el que identificaron 20 lugares potenciales para construir una red eficiente de conservación *in situ* que conservara, al menos, 2/3 de las especies analizadas. Más recientemente, Rubio Teso *et al*¹¹⁹ hicieron un análisis espacial exhaustivo del estado de conservación de 47 especies silvestres endémicas, amenazadas y emparentadas con cultivos alimentarios (ej. alcachofa), forrajeros y pastos (ej. alfalfa),

¹¹⁵ Vincent H, Amri A, Castañeda-Álvarez N, Dempewolf H, Dulloo E, Guarino L, Hole D, Mba C, Toledo A & Maxted N (2019) Modeling of crop wild relative species identifies areas globally for *in situ* conservation. *Communications Biology* 2, 136.

¹¹⁶ Rubio Teso ML, Iriondo JM, Parra-Quijano M & Torres E (2014) Report for National Strategy for the conservation of crop wild relatives of Spain.

¹¹⁷ En el estudio de Rubio Teso *et al* (2014) se consideró que la diversidad genética potencial de una especie se encontraba adecuadamente conservada *in situ* cuando la Red Natura incluía poblaciones de, al menos, el 75% de las categorías ecogeográficas en las que se distribuye la especie.

¹¹⁸ Estos análisis se han empleado en estudios de conservación *in situ* de PSC para maximizar la eficacia de las redes de conservación, ya que identifica el número mínimo de áreas para conservar el número máximo de PSC objetivo.

¹¹⁹ Rubio Teso ML, Parra-Quijano M, Torres E & Iriondo JM (2018) Identification & assessment of the crop wild relatives of Spain that require most urgent conservation actions. *Mediterranean Botany* 39, 67-75.

ornamentales (ej. clavel) e industriales y otros usos (ej. tomillo), que clasificaron de ‘urgente necesidad de conservación’. El estudio concluye que (i) solo el 38 % de las especies evaluadas tiene más de 5 poblaciones¹²⁰ conocidas pasivamente conservadas en los LIC, (ii) el 57 % de las especies tendrían más del 70 % de la diversidad genética (potencial)¹²¹ conservada de forma pasiva en las mismas zonas de la Red, utilizando el método ecogeográfico y (iii) 11 especies catalogadas como En Peligro Crítico (CR) y En Peligro (EN) según la UICN no están contempladas en el CEEA, aunque 10 de ellas sí tienen actual protección legal a nivel autonómico. Un análisis preliminar¹²² de PSC de importancia socioeconómica conservados en la RERB, identificó 15 RB que albergarían entre 75 (RB de Menorca) y más de 170 PSC (RB de la Sierra del Rincón). Estos resultados ponen de manifiesto que la red española de espacios protegidos ofrece una relevante cobertura para muchas especies de PSC/PSUA, si bien resulta necesario actualizar esta información para los PSC contemplados en el Catálogo Nacional asociado a esta Estrategia.

La ubicación de una población de un PSC/PSUA dentro de un área protegida le confiere una protección pasiva, pero en modo alguno garantiza su viabilidad, ya que en la mayoría de los casos los gestores desconocen la existencia y el valor de dicha población, e incluso pueden implementar actuaciones que perjudiquen a la misma. En la práctica, la conservación *in situ* de la diversidad genética de PSC/PSUA en Europa pasa por la designación de reservas genéticas, es decir, áreas definidas para la conservación activa y a largo plazo de las poblaciones de las especies objetivo¹²³ y que cumplen con unas condiciones mínimas de gestión¹²⁴; las reservas genéticas deben estar (i) legalmente protegidas, (ii) las poblaciones objetivo georreferenciadas y censadas, (iii) el medio caracterizado, incluyendo la identificación de posibles amenazas, (iv) las especies objetivo perfectamente identificadas, con un pliego de herbario conservado, (v) monitoreadas periódicamente y (vi) conservadas *ex situ*, como respaldo en caso de necesitar alguna intervención sobre la población. En la actualidad, 8 países europeos ya han creado redes de reservas genéticas para una o más especies objetivo (ver apartado 1). En España, dentro del marco del proyecto europeo Farmer’s Pride, se establecieron, en 2019, las 3 primeras reservas genéticas de PSC en la Reserva de la Biosfera de la Sierra del

¹²⁰ Según Brown & Briggs (1991), 5 poblaciones es el número mínimo a conservar para preservar adecuadamente la diversidad genética de una especie amenazada. Brown A.H.D., Briggs J.D. (1991) Sampling strategies for genetic variation in ex situ collections of endangered plant species. In: Falk D.A., Holsinger K.E. (Eds.), Genetics and Conservation of Rare Plants, Oxford University Press, New York (1991), pp. 99-119.

¹²¹ Whitlock et al (2016) establecieron que hace falta conservar el 35 % de las poblaciones de una especie para conservar el 70 % de su diversidad genética.

¹²² Análisis preliminar realizado en 2019 por Álvarez Muñoz C (Área de Biodiversidad de la Universidad Rey Juan Carlos, Madrid).

¹²³ Maxted N, Hawkes JG, Ford-Lloyd BV & Williams JT (1997) A practical model for *in situ* genetic conservation. In: Maxted N, Ford-Lloyd BV & Hawkes JG (eds) Plant genetic conservation: the *in situ* approach. Chapman & Hall, London, pp 339-367.

¹²⁴ Iriando JM, Maxted N, Kell S, Ford-Lloyd BV, Lara-Romero C, Labokas J & Magos Brehm J (2011) Quality standards for genetic reserve conservation of crop wild relatives. In: Maxted et al (eds) Agrobiodiversity Conservation: Securing the Diversity of Crop Wild Relatives and Landraces, CABI International, pp 72-77.



Censo de una población de *Hordeum secalinum* Schreb. en la reserva genética de la vía pecuaria del Cordel del Salmoral en la Reserva de la Biosfera de la Sierra del Rincón (Foto: A. Molina)

Rincón, Madrid. En total se están conservando *in situ* poblaciones de 30 especies (1 población/especie), emparentadas con cultivos de uso alimentario, como la zanahoria o el trigo; forrajeras o para pastos, como el altramuz o los tréboles, y para la producción de aceites, como el lino. A nivel regional, el mencionado proyecto europeo tiene entre sus objetivos incluir y reconocer formalmente las reservas genéticas designadas en los diferentes países —siempre que cumplan con las condiciones mínimas de gestión definidas— en una Red Europea destinada a conservar de forma eficiente la diversidad genética de los PSC.

Por otro lado, según datos facilitados por los organismos competentes de las CCAA, al menos 28 poblaciones de 10 especies listadas en el catálogo europeo de PSC¹²⁵ están siendo conservadas activamente en nuestro país, ya que forman parte de los catálogos de especies protegidas de las CCAA en las que se encuentran. Además, en el caso concreto de la Comunidad Valenciana, la red de microrreservas establecida en 1998

¹²⁵ Este catálogo está siendo elaborado por el equipo de Shelagh Kell (Universidad de Birmingham, UK) dentro del Proyecto Farmer's Pride (pendiente de publicación).

¹²⁶ Según la lista de géneros de cultivos priorizados para la elaboración del Catálogo de la presente Estrategia

contribuye a la conservación *in situ* activa de 232 PSC raros, endémicos o amenazados, y relacionados con cultivos de interés socioeconómico¹²⁶. Aunque no se han realizado estudios concretos resulta esperable que algunas PSUA estén igualmente incluidas en los catálogos de protección de especies nacional y autonómicos.

A modo de conclusión, la gran extensión de la Red Natura y otros espacios naturales protegidos hacen que exista un potencial enorme para la conservación *in situ* de los PSC/PSUA en España, albergando a la mayoría de estas especies consideradas como prioritarios y a una gran parte de su diversidad genética. No obstante, la conservación pasiva de las poblaciones de PSC considerados como prioritarios en estudios previos, y a una gran parte de su diversidad genética, no garantiza su viabilidad. Resulta necesario establecer reservas genéticas en los espacios de la Red Natura, donde se monitoricen periódicamente las poblaciones de PSC/PSUA y se implementen medidas de conservación cuando sea necesario. Sin embargo, en el contexto legislativo actual, solo parece factible que se puedan tomar este tipo de acciones para aquellos PSC/PSUA que formen parte de los Anexos II, IV y V de la Directiva de Hábitats o que se encuentren recogidos en el CEEA o en alguno de los catálogos autonómicos. Por otro lado, la RERB constituye otro instrumento de conservación de la biodiversidad que puede resultar de gran importancia para la conservación *in situ* de los PSC y PSUA. La ventaja de esta segunda red estriba en que la conservación de los PSC/PSUA concuerda mejor con sus objetivos orientados a (i) la conservación de los recursos genéticos, las especies, los ecosistemas y los paisajes, (ii) el desarrollo económico y humano sostenible y (iii) el apoyo logístico para la realización de actividades de investigación, educación, formación y observación permanente a nivel local, nacional y mundial, relativas a la conservación y al desarrollo sostenible. Finalmente, resulta conveniente señalar el potencial que tienen los Programas de Desarrollo Rural anteriormente señalados a la hora de desarrollar medidas que contribuyan al establecimiento de reservas genéticas en espacios naturales de su ámbito o incluso en las propiedades agrícolas. En el mismo sentido, merece la pena indicar el potencial que puede ofrecer el establecimiento de acuerdos de custodia del territorio con propietarios privados de terrenos que alojen poblaciones de PSC/PSUA de interés.

Ex situ

La conservación *ex situ* siempre debe complementar a la *in situ*, garantizando la conservación a largo plazo de las poblaciones naturales. Además, su papel es fundamental para poner a disposición inmediata material vegetal de uso en la restauración de poblaciones, la mejora de cultivos u otros fines de investigación. Para ello, los objetivos de las colecciones *ex situ* de PSC/PSUA deben estar dirigidos a (i) preservar el mayor número posible de taxones, (ii) tener bien representada la diversidad genética de cada taxón y (iii) facilitar el acceso a los recursos y la información asociada, para su utilización sostenible.

El Segundo Informe de la FAO destaca un mayor reconocimiento de los PSC por parte de los países y con ello, el interés por su conservación *ex situ*. Países de todo el mundo han llevado a cabo misiones de recolección exclusiva de PSC, por ejemplo, Papúa Nueva Guinea (PSC del arroz y caupí)¹²⁷; Ucrania, (66 especies PSC del trigo, cebada, avena, entre otras, y tres endémicas, raras de la lenteja)¹²⁸, Kazajistán (PSC de alfalfa, cebolla, lechuga, forrajeras y medicinales)¹²⁹ y Rusia (solo en 2017 realizaron 26 misiones para recolectar PSC de los más de 1680 identificados en el país)¹³⁰. En la última década, el proyecto global coordinado por Crop Trust-RBG Kew¹³¹ ha contribuido a ampliar algunas colecciones de germoplasma del CGIAR (*Consultive Group on International Agricultural Research*) con la recolección y conservación de especies silvestres emparentadas con 28 cultivos prioritarios para la seguridad alimentaria mundial en 25 países, entre los que figura España con la participación del Centro Nacional de Recursos Fitogenéticos (CRF-INIA-CSIC). En Europa, la conservación *ex situ* de PSC avanza progresivamente gracias a las actividades de los grupos de trabajo del ECPGR¹³². Pero a pesar de estos esfuerzos, los PSC siguen estando insuficientemente representados en las colecciones de germoplasma¹³³. Varios estudios realizados a más de 1000 PSC prioritarios

La conservación *ex situ* siempre debe complementar a la *in situ*, garantizando la conservación a largo plazo de las poblaciones naturales

¹²⁷ Kambuou R, Okpul T & Hunter D (2012) Papua New Guinea: a much neglected hotspot of crop wild relative diversity. *Crop Wild Relative* 8, 39-42.

¹²⁸ Diederichsen A, Rozhkov RV, Korzhenevsky VV & Boguslavsky RL (2012) Collecting genetic resources of crop wild relatives in Crimea, Ukraine, in 2009. *Crop Wild Relative* 8, 34-38.

¹²⁹ Greene SL, Hannan R, Afonin A, Dzyubenko NI & Khusainov A (2000) Collecting wild crop relatives in the northwestern steppes of Kazakhstan. *Plant Genetic Resources Newsletter* 141, 1-7.

¹³⁰ Dzyubenko NI (2018) Vavilov's collection of worldwide crop genetic resources in 21st Century. *Biopreservation and Biobanking* 16, 377-383.

¹³¹ <https://www.cwrdiversity.org/project/>

¹³² <https://www.ecpgr.cgiar.org/working-groups>

¹³³ FAO (2010) *The Second Report on The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture*. FAO, Rome.

a nivel mundial ponen de manifiesto esta situación, con aproximadamente un 30 % de los PSC analizados sin representación alguna en bancos^{134,135} y hasta el 56 % con menos de 10 entradas conservadas¹³⁴. Además, hay que destacar que solo las instituciones con una larga tradición de uso de PSC en mejora vegetal (ej. tomate, trigo, arroz, patata) tienen a su disposición extensas colecciones de germoplasma.

España cuenta con dos grandes redes de bancos de germoplasma: 1) la Red de Colecciones de Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación del Programa Nacional, constituida por bancos de germoplasma distribuidos por las CCAA y una colección de seguridad a largo plazo mantenida por el CRF-INIA-CSIC y 2) la Red Española de Bancos de Germoplasma de Plantas Silvestres y Fitorrecursos Autóctonos (REDBAG), en el seno de la Asociación Ibero-Macaronésica de Jardines Botánicos (AIMJB). La primera de ellas se ha centrado históricamente en la conservación de variedades tradicionales de los cultivos, mientras que la segunda lo ha hecho en la conservación de especies vegetales amenazadas. La insuficiente representación de PSC y su diversidad genética también se pone de manifiesto en nuestro país. Un estudio reciente realizado a 578 PSC identificados como prioritarios para España, reveló que aproximadamente un 30 % no cuenta con representación alguna en bancos de germoplasma nacionales —ni internacionales—¹³⁶. Dentro de aquellos que sí cuentan con alguna representación, el 34 % tiene entre 1 y 4 entradas, es decir, por debajo del mínimo recomendado según el criterio de Brown y Briggs¹³⁷. Similar es el caso de las PSUA. En 2014, un estudio realizado a 525 PSUA reveló que, en torno al 40 %, no tenían ninguna representación en bancos de la Red de Colecciones; más aún, concluyó que un 25 % de las especies de mayor relevancia etnobotánica —aquellas especies con 10 o más referencias de uso— no estaban representadas en el Inventario Nacional de recursos fitogenéticos y hasta un 42 % tenía menos de 5 entradas conservadas¹³⁸.

En el caso de los PSC, la mayoría de las entradas preservadas en bancos

¹³⁴ Rubio Teso ML, Iriondo JM, Parra-Quijano M & Torres E (2014) Report for National Strategy for the conservation of crop wild relatives of Spain.

¹³⁵ Vincent H, Wiersema J, Kell S, Fielder H, Dobbie S, Castañeda-Álvarez N, Guarino L, Eastwood R, León B & Maxted N (2013) A prioritized crop wild relative inventory to help underpin global food security. *Biological Conservation* 167, 265-275.

¹³⁶ Rubio Teso ML, Torres E, Parra-Quijano M, de la Rosa L & Iriondo JM (2018) National Inventory and prioritization of CWR in Spain. *Genetic Resources and Crop Evolution* 65, 1237-1253.

¹³⁷ Según Brown & Briggs (1991), 5 poblaciones es el número mínimo a conservar para preservar adecuadamente la diversidad genética de una especie amenazada. Brown A.H.D., Briggs J.D. (1991) Sampling strategies for genetic variation in ex situ collections of endangered plant species. In: Falk D.A., Holsinger K.E. (Eds.), *Genetics and Conservation of Rare Plants*, Oxford University Press, New York (1991), pp. 99-119.

¹³⁸ Aguiriano E, Fajardo J, García R & De la Rosa L (2017) Representación de las plantas silvestres comestibles españolas en el Inventario de recursos fitogenéticos conservados *ex situ*, una situación que se debe mejorar. Huellas inéditas del VI Congreso Internacional de Etnobotánica (ICEB 2014), Córdoba, España.



Recolección de semillas de *Lathyrus sphaericus* Retz. para su conservación *ex situ* en un banco de germoplasma (Foto: A. Molina).

nacionales han sido recolectadas en misiones de recolección de material silvestre y no expresamente por su condición de PSC —como RFAA real o potencial para la mejora vegetal—, aunque existen algunas excepciones. Entre ellas, cabe destacar la colección de crucíferas del Banco de Germoplasma Vegetal ‘César Gómez Campo’ (BGV-UPM) iniciada en la década de los 60 y cuyo objetivo inicial fue conservar material vegetal silvestre de utilidad para la mejora de los cultivos; además, recientemente el BGV-UPM ha realizado la primera recolección de PSC de alfalfa, zanahoria, trigo, trébol o salvia, entre otros, de la Reserva de la Biosfera de la Sierra del Rincón en Madrid. En la última década, el CRF-INIA-CSIC también ha puesto su interés en la recolección y conservación de PSC. A través de un proyecto de investigación liderado por la UPM, se mejoró el tamaño y la calidad de su colección de *Lupinus*, mediante una colecta de semillas en la que se utilizaron criterios ecogeográficos¹³⁹. Además, entre 2016 y 2018 han llevado a cabo actividades de prospección y recolección de especies

¹³⁹ Parra-Quijano M, Iriondo JM & Torres E (2012) Improving representativeness of genebank collections through species distribution models, gap analysis and ecogeographical maps. *Biodiversity Conservation* 21, 79-96.

¹⁴⁰ <https://www.cwrdiversity.org/project/>

¹⁴¹ Siguiendo este método se recolectaron semillas de 208 faltantes ecogeográficos de 22 taxones emparentados con los cultivos de cereales y leguminosas mencionados [García R et al 2019. Mejorando la conservación *ex situ* de PSC de cereales y leguminosas de interés en agricultura y alimentación. IX Congreso de Biología de la Conservación de Plantas, 9-12 julio 2019, Granada, España]

emparentadas con trigo duro, avena, cebada, guisante, lenteja, alfalfa, centeno, haba, veza y almorta en el marco del proyecto global Crop Trust-RBG Kew¹⁴⁰ y siguiendo la metodología de recolección optimizada según los principios de complementariedad y representatividad ecogeográfica¹⁴¹ —una parte de estos materiales se encuentran conservados en el Millenium Seed Bank de Kew, Londres—. En la actualidad, se trabaja en la multiplicación y regeneración de parientes silvestres de los géneros *Vicia*, *Lathyrus*, *Pisum* y *Lens*. Por otra parte, el Instituto de Investigaciones Agrarias Finca La Orden –Valdesequera lleva tiempo recolectando semillas de poblaciones silvestres de *Trifolium* y de otras especies silvestres de pastos con fines de mejora¹⁴².

En definitiva, España cuenta con una importante infraestructura de bancos



Secado de las semillas de PSC en gel de sílice para su conservación en un banco de germoplasma (Foto: A. Molina).

¹⁴² <http://cicytex.juntaex.es/es/centros/la-orden-valdesequera/departamentos/6/area-de-dehesa-y-pastos>

Vulnerabilidad al cambio climático

de germoplasma con capacidad para conservar *ex situ* las entradas más representativas de los PSC/PSUA prioritarios. No obstante, la situación actual muestra un importante déficit de conservación *ex situ*, tanto en términos de representatividad de los PSC/PSUA más prioritarios, como de su diversidad genética. Resulta, por tanto, necesario, diseñar e implementar acciones de recolección optimizada de germoplasma de PSC/PSUA que, de forma eficiente, contribuyan a mejorar la situación.

El último informe del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC)¹⁴³ proyecta un continuo aumento de la temperatura global durante el siglo XXI y, con ello, la probabilidad de impactos severos e irreversibles en los ecosistemas. El cambio climático es uno de los principales factores que afecta a la distribución, abundancia, fenología y fisiología de las especies silvestres y, por tanto, de los PSC/PSUA y su diversidad. Algunas de sus consecuencias son el desplazamiento de especies hacia latitudes y altitudes más elevadas en busca de climas favorables¹⁴⁴ o la constricción del área de distribución, con la consiguiente amenaza sobre su diversidad genética y, por tanto, supervivencia a largo plazo¹⁴⁵; en el peor escenario, cuando la tasa de cambio climático sobrepasa la capacidad de las especies para migrar naturalmente y/o adaptarse, se puede producir la extinción de muchas de sus poblaciones e, incluso, de la propia especie¹⁴⁶.

En el plano global, un estudio reciente modeló el impacto de diferentes escenarios de cambio climático sobre 724 especies emparentadas con 167 cultivos mayoritarios a nivel mundial. Para 2070, el estudio prevé (i) pérdidas del 50 % o más en el rango de distribución actual de 90 PSC, principalmente asociados con cultivos de hortalizas de raíz, bulbo y tuberosas, cereales y leguminosas, (ii) pérdidas para la mayoría

¹⁴³ IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core writing team, RK Pachauri and LA Meyer (eds.)] IPCC, Geneva.

¹⁴⁴ Jump A & Peñuelas J (2005) Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters* 8, 1010-1020.

¹⁴⁵ Bilz M, Kell S, Maxted N & Lansdown RV (2011) European Red List of Vascular Plants. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

¹⁴⁶ Davis M & Shaw R (2001) Range shifts and adaptive responses to quaternary climate change. *Science* 292, 673-679.

¹⁴⁷ Vincent H, Amri A, Castañeda-Álvarez N, Dempewolf H, Dulloo E, Guarino L, Hole D, Mba C, Toledo A & Maxted N (2019) Modeling of crop wild relative species identifies areas globally for in situ conservation. *Communications Biology* 2, 136.

¹⁴⁸ Jarvis A, Lane A & Hijmans R (2008) The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126, 13-23.

de los PSC del estudio, de un 20 % de media, de la cobertura actual que tienen en áreas protegidas y (iii) pérdidas de más del 50 % de la diversidad genética de unas 50 especies, debidas a la reducción, bien de su área de distribución, bien del área conservada pasivamente en áreas protegidas¹⁴⁷. Jarvis et al¹⁴⁸ estiman que entre un 80 y 100 % de los PSC de cacahuete, patata y judía que estudiaron verán sus rangos potenciales de distribución reducidos a más del 50 % y que, quizás, hasta un 22 % se habrán extinguido en 2055. En Europa, los modelos de proyección bajo diferentes escenarios de cambio climático y migración confirman lo expuesto con anterioridad; de un lado, cambios en la distribución de la riqueza de especies en dirección sur-norte y, de otro, un aumento, tanto del número de PSC amenazados como de la severidad de dicha amenaza. En Noruega, el análisis realizado a 187 PSC prioritarios muestra un posible incremento de la riqueza en las zonas interior y norte (entre 20-40 %), y una ligera pérdida en la composición de especies del sur; además, entre el 2030 y 2080 se prevé un aumento de hasta un 12 % en el número de taxones en las categorías UICN CR y EX¹⁴⁹. Por su parte, bajo el escenario de cambio climático y migración más optimista¹⁵⁰, varios estudios en los Países Bajos proyectaron disminuciones en el rango de distribución de alrededor del 50 % de los PSC analizados (parientes silvestres de cultivos mayoritarios, como la cebada o trigo y amenazados en la actualidad) y, por el contrario, un aumento en la distribución de otros, como PSC de alfalfa y menta¹⁵¹; en la mayoría de las especies, se prevé una pérdida de hábitat en las zonas del sur y ligeras expansiones hacia el norte¹⁵².

En España, no hay en la actualidad estudios centrados en la vulnerabilidad de los PSC/PSUA a los efectos del cambio climático, pero el estudio realizado por Felicísimo et al¹⁵³ sobre su impacto en 145 taxones de flora amenazada incluye algunos parientes silvestres de cultivos como la cebolla, el tomillo o la veza. En el caso de un horizonte a medio plazo (2041-2070) y el escenario de cambio más moderado, los resultados proyectan (i) índices críticos de vulnerabilidad para la mitad de las especies del estudio y (ii) una reducción variable, entre el 30 – 40 %, de la riqueza específica media en todos los Parques Nacionales, una parte amplia de LIC de la Red Natura 2000 y la mayoría de las Reservas de la Biosfera. Los resultados por especie son variables dependiendo de la plasticidad ecológica y los requerimientos de hábitat, previendo tanto, expansiones del área potencial (ej. *Thymus hyemalis* subsp. *millefloris* (D.

¹⁴⁹ Phillips J, Magos Brehm J, van Oort B, Asdal A, Rasmussen M & Maxted N (2017) Climate change and national crop wild relative conservation planning. *Ambio* 46, 630-643.

¹⁵⁰ Migración ilimitada y escenario de cambio climático RCP2.6. Según el IPCC, en el escenario RCP2.6 el calentamiento global se mantiene, preferentemente, inferior a 2° C sobre las temperaturas del periodo preindustrial.

¹⁵¹ van Treuren R, Hoekstra R & van Hintum TJL (2017) Inventory and prioritization for the conservation of crop wild relatives in The Netherlands under climate change. *Biological Conservation* 216, 123-139.

¹⁵² Aguirre-Gutiérrez J, van Treuren R, Hoekstra R & van Hintum TJL (2017) Crop wild relatives range shifts and conservation in Europe under climate change. *Diversity and Distributions* 23, 739-750.

¹⁵³ Felicísimo AM (coord.) (2011) Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. Flora y vegetación. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, España.

Rivera, Flores & Laencina) R. Morales, PSC del tomillo cultivado) como reducciones drásticas hasta la extinción (ej. *Allium rouyi* Gaut., PSC de cebolla, o *Vicia altissima* Desf., PSC de veza).

Estos y otros estudios ponen de manifiesto la diferente vulnerabilidad de las especies a los impactos del cambio climático según su capacidad de migrar y adaptarse. De este modo, PSC/PSUA que colonizan rápidamente ambientes alterados (ej. bordes de carreteras) podrán beneficiarse de más corredores de migración para expandir su distribución potencial¹⁵⁴, aumentando así su probabilidad de supervivencia —siempre y cuando— se haga una adecuada gestión y mantenimiento de estos corredores; al contrario que aquellas especies con una capacidad limitada para migrar y preferencia por hábitats más particulares. En este último caso, la recolección y conservación *ex situ* de material vegetal cobra especial importancia para asegurar las opciones de restauración de las poblaciones y utilización de los recursos genéticos¹⁵⁵. Dado que las proyecciones apuntan a una disminución del número de poblaciones conservadas actualmente en las redes de espacios protegidos, lo cual incrementaría la amenaza sobre su conservación y la de su diversidad genética, es recomendable poner el foco en un diseño de redes de conservación *in situ* que tenga en cuenta las predicciones de cambio climático y hagan uso de la infraestructura verde, mejorando así la conectividad entre espacios naturales y los procesos migratorios de las especies. Este enfoque es especialmente relevante en países de la cuenca Mediterránea, como España, señalada por el IPCC como una de las zonas más vulnerables del mundo al cambio climático¹⁵⁶.

El diseño de las redes de conservación *in situ* de PSC/PSUA debe tener en cuenta las predicciones de cambio climático y hacer uso de la infraestructura verde.

¹⁵⁴ Jarvis A, Lane A & Hijmans R (2008) The effect of climate change on crop wild relatives. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 126, 13-23.

¹⁵⁵ FAO (2015) *Coping with climate change – the roles of genetic resources for food and agriculture*. Rome, 110 pp.

¹⁵⁶ Thiébaud et al (2016) *The Mediterranean Region under Climate Change. A Scientific Update*. Marseille.

Uso real y potencial de los PSC

Los procesos de domesticación y fitomejoramiento reducen la variación genética de los cultivos, generando cuellos de botella que ponen en riesgo su resiliencia ante nuevas y cambiantes amenazas bióticas y abióticas. En 1997, la FAO sacó a relucir el problema de la erosión genética que amenazaba a los cultivos¹⁵⁷, reconocido desde hacía al menos 60 años¹⁵⁸, por la introducción indiscriminada de nuevas variedades modernas y sustitución de las variedades tradicionales, genéticamente más diversas. Más recientemente, la FAO ha vuelto a destacar la necesidad de mantener y usar de forma sostenible la diversidad genética inherente en los recursos fitogenéticos, poniendo en valor a los PSC como recursos clave para mejorar la eficiencia, adaptabilidad y resiliencia de los sistemas productivos¹⁵⁹.

El valor de los PSC como fuente de diversidad y donantes de genes útiles para la mejora de los cultivos es conocido desde hace más de 150 años. Sin embargo, fue a partir de la década de los 40 cuando comenzó a reconocerse su utilidad en los programas de mejora de cultivos importantes. En sus comienzos, los parientes silvestres se explotaron, principalmente, para conferir resistencias frente a plagas y enfermedades que habían ocasionado pérdidas importantes en cultivos básicos para la seguridad alimentaria. Estos fueron los conocidos casos del mildiu de la patata (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary), que tuvo consecuencias devastadoras sobre la población y economía irlandesa a mediados del siglo XIX¹⁶⁰, o el virus del achaparramiento del arroz (RGSV) que destruyó más de 116.000 hectáreas en el sur y sureste de Asia en los años 70¹⁶¹, con las consecuentes pérdidas económicas; sus respectivas resistencias se encontraron años después en los PSC *Solanum demissum* Lindl.¹⁶² y *Oryza nivara* Sharma & Shastri, que siguen proporcionando resistencia a las variedades cultivadas en la actualidad, como es el caso del cultivar 'DRR Dhan 40', comercializado en India desde 2014 y derivado de *Oryza nivara*¹⁶³.

¹⁵⁷ FAO (1997) The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. FAO, Rome.

¹⁵⁸ HV Harlan y ML Martini fueron los primeros en reconocer el problema de la erosión genética en cultivos en 1936 (Problems and results of barley breeding).

¹⁵⁹ FAO (2015) Coping with climate change – the roles of genetic resources for food and agriculture. Rome, 110 pp.

¹⁶⁰ Ó Gráda C (1989) The Great Irish Famine. London, 87pp.

¹⁶¹ Prescott-Allen R & Prescott-Allen C (1988) Genes from the wild: using wild genetic resources for food and raw materials. UK, 116 pp.

¹⁶² Bains GS & Howard HW (1950) Haploid plants of *Solanum demissum*. Nature 4227, 795.

¹⁶³ Haritha G, Malathi S, Divya B, Swamy BPM, Mangruthia SK & Sarla N (2018) *Oryza nivara* Sharma et Shastri. In: Mondal T & Henry R (eds) The Wild Oryza Genomes. Compendium of Plant Genomes, Cham, 207-238.

Desde la década de los 80, la investigación y uso de los PSC se ha intensificado y extendido a un abanico más amplio de cultivos y de los caracteres de resistencia que pueden transferir. Este aumento en la investigación y uso ha estado marcado por el creciente reconocimiento de su potencial para ampliar la base genética de las plantas cultivadas¹⁶⁴ y apoyado, en parte, por la continua evolución en las técnicas biotecnológicas, desde la micropropagación hasta la selección asistida por marcadores moleculares. Entre 1985 y 2005, más de 60 especies silvestres emparentadas con 13 cultivos de importancia para la seguridad alimentaria mundial habían contribuido con sus genes al lanzamiento de nuevos cultivares¹⁶⁵. En la actualidad, el foco principal sigue siendo la incorporación de genes de resistencia a plagas y enfermedades; pero la creciente necesidad de mejorar los rendimientos de los cultivos y su resiliencia ante el cambio climático¹⁶⁶, para hacer frente a las proyecciones de crecimiento de la población mundial y calentamiento global¹⁶⁷, ha aumentado el interés por nuevo material genético procedente de PSC que pueda utilizarse con estos fines.

El uso de los PSC en mejora vegetal es evidente, tanto en el sector público como en el privado, pero la escasa información puesta en dominio público hace difícil cuantificar con exactitud la contribución genética de los PSC a la premejora¹⁶⁸ y mejora de los cultivos. A nivel global, una revisión bibliográfica reciente identificó 4157 «usos» confirmados y potenciales de 970 taxones de PSC asociados a 127 cultivos, destacando los usos relacionados con caracteres para hacer frente al estrés biótico (2427) y abiótico (700) y de tipo agronómico (485)¹⁶⁹. A continuación, se ilustran algunos ejemplos de éxito de producción de líneas premejoradas o lanzamiento de cultivares comerciales con genes de PSC incorporados: la tolerancia a herbicidas de post-emergencia con imidazolinonas de *Helianthus annuus* L., PSC del

¹⁶⁴ Singh M & Kumar S (eds.) (2016) Broadening the Genetic Base of Grain Cereals. Springer, India.

¹⁶⁵ Hajjar R & Hodgkin T (2007) The use of wild relatives in crop improvement: a survey of developments over the last 20 years. *Euphytica* 156, 1-13.

¹⁶⁶ Fielder H, Brotherton P, Hosking J, Hopkins J, Ford-Lloyd B & Maxted N (2015) Enhancing the conservation of crop wild relatives in England. *PLoS ONE* 106, 1-21.

¹⁶⁷ IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core writing team, RK Pachauri and LA Meyer (eds.)] IPCC, Geneva.

¹⁶⁸ La premejora es la introducción de caracteres de interés en material genético agronómicamente adaptado. Es un paso clave para proporcionar material evaluado y listo para ser utilizado por los mejoradores en sus programas de obtención de nuevas variedades.

¹⁶⁹ Dempewolf H, Baute G, Anderson J, Kilian B, Smith C & Guarino (2017) Past and future use of wild relatives in crop breeding. *Crop Science* 57, 1070-1082. Inventario de PSC disponible en <https://www.cwrdiversity.org/checklist/>



Patellifolia patellaris (Moq.) A. J. Scott, Ford-Lloyd & J. T. Williams (PSC de la remolacha) con los frutos maduros para su recolección (Foto: M.L. Rubio Teso).

girasol, contribuyó al lanzamiento de los híbridos comerciales 'Clearfield'¹⁷⁰; *Solanum pennellii* Correll, *S. habrochaites* S. Knapp & DM Spooner, *S. lycopersicoides* Dunal y *S. sitiens* IM Johnst. se han utilizado para desarrollar líneas de introgresión (ILs) con potencial para mejorar la resistencia del tomate frente a estreses bióticos y abióticos y sus características agronómicas y nutricionales^{171,172}; más de 8 especies del género *Aegilops* han donado genes de resistencia para combatir enfermedades y plagas del trigo¹⁷³; *Daucus capillifolius* Gilli, que posee resistencia a la mosca *Psila rosae*, la plaga más devastadora que afecta al cultivo de zanahoria, fue decisiva para lanzar al mercado el cultivar de alta tolerancia 'Flyaway'¹⁷⁴, comercializado en la actualidad¹⁷⁵ y *Brassica villosa* Biv. se utilizó para obtener el «super brócoli Beneforte™» —una variedad comercial de brócoli con un contenido en glucorafanina¹⁷⁶ 2-3 veces superior al estándar.

En España también se ha reconocido su potencial de utilización para aumentar la base genética de los cultivos y hacer frente a nuevos retos, especialmente el de la adaptación al cambio climático a través de la búsqueda de resistencias o tolerancias a factores abióticos y bióticos¹⁷⁷, principal demanda de caracteres por parte de mejoradores y agricultores¹⁷⁸. Así, orientados en esta línea, en los últimos 5 años se han llevado a cabo exitosamente programas de premejora y mejora de cultivos utilizando PSC, tanto nativos como exóticos. Es el caso, por ejemplo, de los parientes silvestres de tomate, *Solanum chilense* (Dunal) Reiche y *S. peruvianum* L., que se han empleado en estudios de resistencia a los virus de la hoja de cuchara (TYLCV)¹⁷⁹ y del moteado (TSWV)¹⁸⁰ del tomate; de *Solanum lidii* Sundig, PSC de la berenjena y endémico de Gran Canaria, que se ha utilizado para

¹⁷⁰ Pfenning M, Palfay G & Guillet T (2008) The CLEARFIELD® technology – a new broad-spectrum post-emergence weed control system for European sunflower growers. *Journal of Plant Diseases and Protection* 21, 649-653.

¹⁷¹ Acquaah G (2012) *Principles of plant genetics and breeding*. Second Edition. UK, 740 pp.

¹⁷² Estas líneas de introgresión se encuentran a disposición de los mejoradores en el C.M. Tomato Genetics Resource Center (TGRRC) <https://tgrc.ucdavis.edu/>

¹⁷³ Schneider A, Molnár I & Molnár-Láng M (2008) Utilisation of *Aegilops* (goatgrass) species to widen the genetic diversity of cultivated wheat. *Euphytica* 163, 1-19.

¹⁷⁴ Kole C (2011) *Wild Crop Relatives: Genomics and Breeding Resources: Vegetables*. Berlín, Heidelberg

¹⁷⁵ cv. comercializado en la actualidad por diversas casas de semillas (ej. <https://www.rhsplants.co.uk/>; <https://www.organicseeds.eu/>)

¹⁷⁶ Glucosinolato que se ha demostrado reduce el riesgo de padecer enfermedades crónicas <https://quadram.ac.uk/superbroccoli/>

¹⁷⁷ García J, Pérez O, Cos JE, Ruiz L & Sánchez E (2018) Influencia del cambio climático en la mejora genética de plantas. *Sociedad Española de Ciencias Hortícolas*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Murcia, España.

¹⁷⁸ Según una encuesta reciente realizada en el marco del proyecto Farmer's Pride (comunicación personal, sin publicar).

¹⁷⁹ Caro M, Verlaan MG, Julian O et al (2015) Assessing the genetic variation of Ty-1 and Ty-3 alleles conferring resistance to tomato yellow leaf curl virus in a broad tomato germplasm. *Mol Breed* 35, 132.

¹⁸⁰ Campos G, Gisbert C, Pérez-de-Castro A & Díez MJ (2017) Obtaining advanced generations from *Solanum peruvianum* PI 126944 in the genetic background of *S. lycopersicum* by immature seed culture. *Euphytica* 213, 63.

el desarrollo de líneas de introgresión¹⁸¹; de *Lens culinaris* subsp. *orientalis* (Boiss.) Ponert., *L. culinaris* subsp. *odemensis* (Ladiz.) M.E. Ferguson & al. y *L. ervoides* (Brign.) Grande, PSC de lenteja, utilizados para desarrollar líneas híbridas interespecíficas que permitan, de un lado, ampliar la base genética del cultivo y, de otro, mejorar la tolerancia a la sequía y resistencias al jopo y tizón de la lenteja¹⁸², o de PSC de los géneros *Vicia*, *Lathyrus*, *Pisum* y *Lens* empleados en estudios de evaluación de resistencias a plagas y enfermedades. En cualquier caso, dadas las características del sector agrario en España y la demanda de los mejoradores en el ámbito nacional e internacional, resulta manifiesto que los PSC de las plantas hortícolas son los que tienen un mayor potencial de utilización y, por tanto, se debería abordar su conservación in situ y ex situ de forma estratégica y prioritaria.

Sin embargo, hoy en día, y a pesar de su mayor reconocimiento por la comunidad agronómica, los PSC siguen estando infrautilizados en los programas de mejora vegetal. El desarrollo de sistemas de clasificación —conceptos acervo genético¹⁸³ y grupo taxonómico¹⁸⁴ o la clasificación combinada de GRIN Taxonomy¹⁸⁵— o de técnicas de caracterización de germoplasma de bajo coste, como la caracterización predictiva¹⁸⁶, sirven de apoyo para evaluar de forma práctica el potencial de utilización de la diversidad de PSC en la mejora de cultivos. No obstante, para que los mejoradores exploten realmente su uso es necesario un acceso fácil y un suministro amplio del abanico de diversidad genética contenida en los PSC, de datos completos de caracterización y evaluación y, en la medida de lo posible, de variedades premejoradas con los caracteres demandados. Aunque se han hecho avances en esta dirección, siguen existiendo restricciones de tipo biológico, económico, humano y legal. Actualmente, dos de las principales limitaciones siguen siendo la falta de datos de caracterización

Dos de las principales limitaciones siguen siendo la falta de datos de caracterización y evaluación de caracteres morfológicos y agronómicos de interés de las entradas conservadas y la disponibilidad limitada de dicha información en bases de datos de acceso público.

¹⁸¹ Proyecto EGGPLANT PRE-BREEDING PROJECT <https://eggplantprebreeding.upv.es/index.html> y Crop Wild Relatives Eggplant Database <https://ics.hutton.ac.uk/cwr/eggplant/#home>

¹⁸² <https://www.cwrdiversity.org/partnership/lentil-pre-breeding-project/>

¹⁸³ Harlan JR & de Wet JMJ (1971). Toward a rational classification of cultivated plants. *Taxon* 20, 509-517.

¹⁸⁴ Maxted N, Ford-Lloyd BV, Jury S, Kell S & Scholten M (2006) Towards a definition of a crop wild relative. *Biodiversity and Conservation* 15, 2673-2685.

¹⁸⁵ Wiersema JH & León B (2016) The GRIN Taxonomy crop wild relative inventory. In: N Maxted, E Dulloo & B Ford-Lloyd (eds) *Enhancing Crop Genepool Use: Capturing Wild Relative and Landrace Diversity for Crop Improvement*. CABI International, Wallingford, pp 453-457. Clasificación disponible en GRIN-Global <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomysearchcwr.aspx>

¹⁸⁶ Thormann I, Parra-Quijano M, Rubio Teso ML, Endresen DTF, Dias S, Iriondo JM & Maxted N (2016) Predictive characterization methods for accessing and using CWR diversity. In: N Maxted, E Dulloo & B Ford-Lloyd (eds) *Enhancing Crop Genepool Use: Capturing Wild Relative and Landrace Diversity for Crop Improvement*. CABI International, Wallingford, pp 64-77.

y evaluación de caracteres morfológicos y agronómicos de interés de las entradas conservadas y la disponibilidad limitada de dicha información en bases de datos de acceso público¹⁸⁷; a éstas, habría que sumar otras que aún persisten, como la dificultad de cruzamiento interespecífica en algunos cultivos, la dificultad de transferir con precisión genes de interés, la escasa financiación destinada a programas de premejora y capacitación, la baja representación de PSC y su diversidad genética en bancos de germoplasma o la restricción del acceso al material vegetal conservado¹⁸⁸. En este último caso, sin duda el Tratado Internacional y el Protocolo de Nagoya en el plano internacional, con el consiguiente desarrollo de normas legislativas y reglamentarias a nivel regional y nacional, han supuesto un avance para facilitar el acceso a los RRFF y promover su uso sostenible.

¹⁸⁷ FAO 2019. The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. J Bélanger & Dilling (eds.) FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome, 572 pp.

¹⁸⁸ Dempewolf H, Baute G, Anderson J, Kilian B, Smith C & Guarino (2017) Past and future use of wild relatives in crop breeding. *Crop Science* 57, 1070-1082.