

Bibliografía

- Arechavaleta, M., S. Rodríguez, N. Zurita & A. García (2010). *Lista de especies silvestres de Canarias. Hongos, plantas y animales terrestres* 2009. Gobierno de Canarias. 579 pp.
- Bello-Rodríguez, V., C. García, M.J. Del-Arco, R. Hernández-Hernández & J.M. González-Mancebo (2016). Spatial dynamics of expanding fragmented thermophilous forests on a Macaronesian island. *Forest Ecology and Management* 379: 165-172.
- Bello-Rodríguez, V., J. Cubas, A.B. Fernández, M.J. Aguilar & J.M. González-Mancebo (2020). Expansion dynamics of introduced *Pinus halepensis* Miller plantations in an oceanic island (La Gomera, Canary Islands). *Forest Ecology and Management* 474, 118374.
- Del Arco Aguilar, M. J., R. González-González, V. Garzón-Machado & B. Pizarro-Hernández (2010). Actual and potential natural vegetation on the Canary Islands and its conservation status. *Biodiversity and Conservation* 19(11): 3089-3140.
- Montesinos, D., R. Otto & J.M. Fernández-Palacios (2009). *Bosques endémicos de Juniperus spp.* *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Dir. Gral. de Medio Natural, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Madrid, España.
- Otto, R., B.O. Krüsi, S. Schaffner, P. Meuwly, J.D. Delgado, J.R. Arévalo & J.M. Fernández-Palacios (2006). Ecología, estructura y dinámica de las poblaciones de la sabina canaria en Tenerife y La Gomera. III Coloq. Int. sobre los sabinares y enebrales (género *Juniperus*) *Ecología y gestión Forestal Sostenible*. Soria 151-159.
- Otto, R., B.O. Krüsi, J.D. Delgado, J.M. Fernández-Palacios, E. García-Del-Rey & J.R. Arévalo (2010). Regeneration niche of the Canarian juniper: the role of adults, shrubs and environmental conditions. *Annals of Forest Science* 67: 709-709.
- Otto, R., R. Barone, J.D. Delgado, J.R. Arévalo, V. Garzón-Machado, F. Cabrera-Rodríguez, & J.M. Fernández-Palacios (2012). Diversity and distribution of the last remnants of endemic juniper woodlands on Tenerife, Canary Islands. *Biodiversity and Conservation* 21(7): 1811-1834.
- Rodríguez-Delgado, O. & M.V. Marrero (1990). Evolución y aprovechamiento de los bosques termófilos (los "montes bajos") de la Isla de Tenerife. *Anuario de Estudios Atlánticos* 1(36): 595-630.
- Romo, A., M. Mazur, M. Salvà-Catarineu & A. Boratyński (2019). A re-evaluated taxon: Genetic values and morphological characters support the recognition of the Canary Island juniper of the *phoenicea* group at a specific level. *Phytotaxa* 406(1): 64-70.
- Rumeu, B., R. B. Elias, D. P. Padilla, C. Melo & M. Nogales (2011). Differential seed dispersal systems of endemic junipers in two oceanic Macaronesian archipelagos: the influence of biogeographic and biological characteristics. *Plant Ecology* 212(5): 911-921.
- Salvà-Catarineu, M. & A. Romo-Díez, A. (2008). Uso de TIG para la conservación del sabinar de *Juniperus turbinata* subsp. *canariensis* en la isla de El Hierro. In: Hernández, L., Parreño, J.M. (Ed.) *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC, Las Palmas de Gran Canaria, pp 766-776.

VÍCTOR BELLO-RODRÍGUEZ, JONAY CUBAS, MARCELINO J. DEL ARCO Y JUANA M^a GONZÁLEZ-MANCEBO
Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal, Universidad de La Laguna.
Avda. Francisco Sánchez s/n, 38206 La Laguna, S.C. de Tenerife, España.
Grupo de investigación *Plant Conservation and Biogeography*.

Ciencia ciudadana

Liquencity: Busca líquenes urbanitas y conoce la calidad del aire de tu ciudad

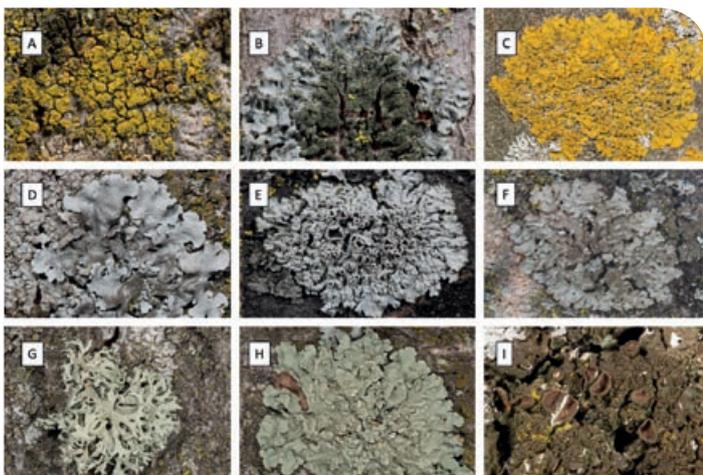


Figura 1. Las 9 especies de líquenes indicadoras de la ciudad de Madrid, ordenadas por filas según su tolerancia a la contaminación. La primera fila consta de las tres especies más tolerantes, la segunda de las especies con tolerancia intermedia y la última las tres especies más sensibles a la contaminación. A) *Candelaria pacifica*. B) *Phaeophyscia orbicularis*. C) *Xanthoria parietina*. D) *Parmelina tiliacea*. E) *Physcia* sp. F) *Physconia grisea*. G) *Evernia prunastri*. H) *Flavoparmelia soredians*. I) *Melanelixia glabra*

¿Qué son los líquenes?

Los líquenes son asociaciones simbióticas formadas por la unión entre un hongo, llamado micobionte y, al menos, un alga y/o una cianobacteria, denominados fotobionte (Grube

& Hawksworth, 2007). Desde un punto de vista evolutivo, la liquenización ha ocurrido en numerosas ocasiones de manera independiente en distintos linajes de hongos en las clases Ascomycota y Basidiomycota (Lücking *et al.*, 2017). Las cerca de 20.000 especies conocidas (Lücking *et al.* 2017) ocupan alrededor del 8% de la superficie terrestre y las podemos encontrar en todos los ecosistemas terrestres, desde las selvas tropicales hasta zonas polares, y desde las costas hasta las altas montañas (Honegger & Nash, 2008).

Los líquenes son muy sensibles a los cambios en las condiciones ambientales y, en concreto, a la contaminación atmosférica debido a que son organismos poiquilohidros, es decir, no presentan mecanismos activos de control de la entrada de agua o gases en el talo (Asta *et al.*, 2002). Sin embargo, no todas las especies son igual de sensibles a los distintos contaminantes, lo que les convierte en unos perfectos bioindicadores y durante décadas su abundancia y diversidad han sido utilizadas por investigadores de todo el mundo para monitorizar los niveles de polución atmosférica y efectos de otras perturbaciones antrópicas (Matos *et al.*, 2017).

Se ha demostrado que una menor diversidad de líquenes epífitos está directamente relacionada con una peor calidad

del aire y al mismo tiempo, con una mayor incidencia de enfermedades respiratorias (Cislaghi & Nimis, 1997). El uso de líquenes como indicadores de la contaminación en España se remonta al estudio pionero de Crespo *et al.* (1977) en la ciudad de Madrid, donde estudiaron los efectos de la contaminación por SO₂ en las comunidades epífitas de la ciudad. Desde entonces los contaminantes más habituales en las ciudades han cambiado debido a las regulaciones en todo el mundo que han hecho que la lluvia ácida deje de ser un problema. Ahora, los contaminantes más perjudiciales para los habitantes de las ciudades, incluyendo los líquenes, son los óxidos de nitrógeno y las partículas en suspensión, especialmente aquellas menores de 2.5 micras (PM2.5). Se estima que aproximadamente 800.000 personas al año mueren en Europa de forma prematura por la nociva acción de los contaminantes atmosféricos (Lelieveld *et al.*, 2019)

El proyecto LiquenCity

LiquenCity (www.liquencity.org) ha sido un proyecto de ciencia ciudadana centrado en averiguar, mediante la participación ciudadana, cuál es la diversidad de líquenes epífitos que viven en los árboles de Madrid y Barcelona e inferir los niveles de calidad del aire en las distintas partes de las dos ciudades. Los objetivos secundarios del proyecto incluían 1) la concienciación de los participantes de los riesgos que implica la contaminación atmosférica para los habitantes de las ciudades, a través de la observación de organismos muy sensibles que podemos considerar centinelas de nuestra propia salud, 2) acercar unos organismos poco conocidos como son los líquenes al público en general, mostrando aspectos relevantes de su biología y su ecología así como su papel bioindicador, y 3) implicar a los ciudadanos en un proyecto científico y mostrar cómo trabajan los investigadores y cómo funciona la ciencia.

El proyecto buscó la participación de los habitantes de ambas ciudades que, junto con la colaboración de un equipo experto en líquenes, encontraron e identificaron los líquenes que viven en ambas capitales. Los participantes fueron principalmente estudiantes de secundaria, particulares que realizaron observaciones por su cuenta o que participaron en actividades con organizaciones y actividades abiertas al público en general denominadas *bioblitz*, en las cuales se intentaba conseguir un gran número de observaciones en un solo día mediante una gran participación. En el proyecto se utilizaron herramientas digitales y dispositivos móviles para realizar las observaciones. La aplicación para dispositivos móviles Natusfera (<https://natusfera.gbif.es/>) permite realizar fotografías geolocalizadas que se almacenan de manera centralizada en la web de Natusfera, permitiendo a los usuarios conocer de manera inmediata las identificaciones o corroboraciones realizadas por los expertos de sus observaciones.

En este artículo pretendemos mostrar la utilidad y el valor de las aproximaciones mediante ciencia ciudadana a cuestiones de relevancia científica y con repercusión en gestión, mostrando la metodología empleada y los resultados preliminares en cuanto a participación y observaciones realizadas.

Materiales y métodos

En ambas ciudades se pusieron en práctica dos metodologías paralelas con el fin de comparar los resultados de ambas aproximaciones. Por un lado, basándose en la experiencia previa de los equipos de Madrid y Barcelona, se seleccionaron respectivamente 9 y 10 especies de macrolíquenes epífitos bioindicadores, fácilmente reconocibles por sus características macroscópicas y que pertenecían a tres grupos de

tolerancia a la contaminación: 1) tolerantes, 2) intermedios y 3) muy sensibles a la contaminación (Fig. 1). Estas especies estaban reflejadas en las guías de campo que se realizaron para cada ciudad, en castellano y catalán (Fig. 2).

Para cada especie encontrada, los participantes debían establecer su abundancia utilizando como medida un DIN A4 como referencia, y observando cuánto ocupaba cada especie respecto a la hoja. Esta metodología está basada en el estudio OPAL realizado en el Reino Unido para monitorizar deposición nitrogenada utilizando líquenes y ciencia ciudadana (Seed *et al.*, 2013; Tregidgo *et al.*, 2013).

Por otro lado, los participantes debían tratar de observar y documentar todas las especies reconocibles en los árboles observados, esta vez sin anotar la abundancia. Esta metodo-



Figura 2. Imágenes de las distintas fases de la actividad. A) Foto tomada durante la realización de un *bioblitz* en la Casa de Campo de Madrid (16 diciembre de 2018). B) Actividad en clase con el colegio Moteserrat-Fuhem de Madrid (30 octubre 2018). C) Actividad en El Pardo (Madrid) con el máster en Biodiversidad en Áreas Tropicales y Su Conservación (UIMP-CSIC; 14 noviembre 2018). D) Alumnas con las fichas de identificación de líquenes y con fotografías hechas acoplando la lupa, en un *bioblitz* en Parc del Castell de l'Oreneta de Barcelona (16 diciembre 2018). E) Actividad teórica en clase, colegio Lestonnac (Barcelona; 15 noviembre 2018).

logía basada en la diversidad total ofrece a priori una mayor información que las especies bioindicadoras, pero también entraña una mayor dificultad, ya que muchas especies son de pequeño tamaño y difíciles de reconocer como un líquen para los ojos inexpertos. Nuestra intención era comparar el éxito de ambas estrategias en el marco de un proyecto de ciencia ciudadana.

Las actividades realizadas en centros educativos contaron con dos educadores ambientales con experiencia previa con líquenes que dirigían y dinamizaban las actividades. Estas se dividían en dos partes (Fig.3), una primera parte teórica de aproximadamente 1h, en la que se explicaba la biología y ecología de los líquenes, usos históricos, contaminación en las ciudades (causas y consecuencias), el papel bioindicador de los líquenes, así como los detalles y objetivos del proyecto. Y una segunda parte que correspondía a una sesión práctica de muestreo de líquenes epífitos en los alrededores del centro (cuando era posible). Dicho muestreo se llevaba mediante las dos aproximaciones arriba descritas y utilizando dispositivos móviles con la app Natusfera para realizar las observaciones. Para las fotografías que se incorporaban a las observaciones, y por tanto al estudio, se prestaban a los participantes lupas de 12 aumentos que se acoplaban a las cámaras de los móviles. Con ello se conseguía obtener un mayor detalle que nos facilitaba la tarea de identificación. Siempre se elegían troncos que tuvieran un perímetro mayor de 30 cm para evitar que el árbol no hubiera vivido el suficiente tiempo como para ser colonizado por las especies

presentes en la zona, para lo cual se proporcionaba a los estudiantes una cinta métrica. Se evitaban ciertas especies de árboles como coníferas o plátanos de sombra (*Platanus x hispanica*) por las características de sus cortezas y su posible efecto negativo en la diversidad de líquenes presentes. Se elegía la orientación que más líquenes presentaba (comúnmente el norte) como base del muestreo, el cual se centraba entre una altura de 50 y 180 cm con el fin de evitar las partes altas y bajas del árbol donde existen condiciones diferentes.

En cuanto a los *bioblitz*, se realizaron dos en cada ciudad, intentando realizarse en las mismas fechas tanto en Barcelona como en Madrid por cuestiones de difusión. El primer *bioblitz* se realizó en el mes de diciembre, a mitad del proyecto, y el segundo se realizó en el mes de marzo como actividad de cierre del proyecto. En los dos *bioblitz* realizados en Madrid se logró alcanzar la cifra de 55 y 50 personas respectivamente, mientras que en Barcelona el dato fue de 10 y 35 personas. El número de observaciones fue muy variable, contabilizando hasta 150 observaciones en un día en la actividad más exitosa.

El resto de las actividades realizadas en el marco del proyecto corresponden a actividades con asociaciones y centros de educación medioambiental y actividades de difusión como la participación en el I Foro Internacional de Ciencia Ciudadana, el Evento Imperdible 04 de COTEC o la Feria de Madrid por la ciencia y la innovación, así como numerosas apariciones públicas en radios y televisiones nacionales.

Resultados

Los resultados de esta primera edición del proyecto fueron notables, obteniendo una participación mucho mayor de la esperado inicialmente, pues se estimaba una que fuera de alrededor de 30 centros educativos entre ambas ciudades y aproximadamente 600-700 participantes. En total, participaron casi 2.000 personas que realizaron cerca de 5.000 observaciones entre ambas ciudades (Tabla 1). La gran mayoría de observaciones, sobre el total filtrado, se realizaron en centros educativos (3.262; 68,9%), seguidos por observaciones de ciudadanos de manera individual (1.107; 23,3%) y, por último, *bioblitz*s (325; 6,9%) y actividades con organizaciones (41; 0,9%). En total, se pudieron identificar un máximo de 30 especies. Un número relativamente bajo de observaciones no pudieron ser identificadas debido a la falta de datos o de detalle en las fotografías, teniendo que desechar 242 observaciones en Madrid y 201 en Barcelona.

Gracias a una toma de observaciones detallada, específica y explicada en cada actividad, la gran mayoría de los datos (4.534; 91,9%) han pasado un filtro de calidad. Dicho filtro fue realizado manualmente con Excel, tomando en consideración la calidad de la foto, ya que debía ser lo suficientemente buena para permitir la identificación de la especie, así como que se hubieran rellenado todos los campos solicitados.

Los datos del proyecto aún se están analizando con herramientas geoestadísticas para elaborar mapas de isocontaminación y comparar ambas metodologías, pero en los datos analizados hasta el momento se observa un claro patrón de muy baja diversidad en los distritos centrales de ambas ciudades con un claro gradiente de aumento del número de especies y su abundancia hacia zonas periféricas. Estos resultados son muy preliminares y aún deben ser tratados estadísticamente.

Ciencia ciudadana como herramienta

Tanto los resultados obtenidos en el proyecto como la elevada participación ciudadana demuestran el gran papel que puede desempeñar la ciencia ciudadana en la toma de datos en proyectos basados en biodiversidad, como es el propio Liquencity.

Con el auge de la ciencia ciudadana, se ha hablado mucho sobre la calidad y cantidad de los datos obtenidos en ella (Lukyanenko *et al.*, 2016). Uno de los principales problemas ha sido la creencia de que los voluntarios no consiguen identificar de una forma correcta y fidedigna las observaciones, generando elevadas cantidades de datos sin valor (ruido). Sin embargo, un número creciente de estudios demuestran que los científicos ciudadanos pueden recoger datos que en su conjunto genere información de forma similar a la recogida en estudios más académicos (Delaney *et al.*, 2008). Por otra parte, se están generando protocolos de muestreo para que las observaciones puedan servir con un bien científico (Kosmala *et al.*, 2016) intentado minimizar la diferencia en cantidad y calidad de datos. Una solución a este problema parece ser la creación de un diseño experimental para cada proyecto que sea eficiente y, sobre todo, un muestreo en el que el voluntario se sienta cómodo sin necesidad de ser experto en la materia (Lukyanenko *et al.*, 2016). La implementación de herramientas innovadoras, tanto en forma de base de datos más eficientes como en herramientas de captura de datos son claves a la hora de mejorar la toma de calidad de los resultados y mejorar la experiencia de los ciudadanos implicados (Callaghan *et al.*, 2019). Actualmente se cuenta con numerosos ejemplos de proyectos de ciencia ciudadana cuyos resultados se han traducido en publicaciones científicas con datos de alta calidad (Delaney *et al.*, 2008; Seed *et al.*, 2013; Tregidgo *et al.*, 2013), incluyendo numerosos ejemplos dentro del área de la biología de la conservación (McKinley *et al.*, 2017; Sterrett *et al.*, 2019).

Liquencity 2. La continuación del proyecto

Liquencity-2 (www.liquencity2.org) surge tras el éxito de la primera edición del proyecto y con el objetivo de ampliar el muestreo a más ciudades de España, en concreto a Oviedo, Pamplona y Pontevedra.

En esta nueva edición introducimos dos cambios sustanciales: la eliminación de la figura del educador ambiental y la creación de una aplicación móvil exclusiva para el proyecto que guía la toma de datos al participante. Mediante esta aplicación, la generación de materiales y guías de campo para cada ciudad, así como la promoción de actividades educativas en los centros de formación del profesorado de cada ciudad, tratamos de evaluar la viabilidad de la propuesta sin una promoción activa como en el primer proyecto.

En conclusión y aunque aún quedan aspectos que finalizar, creemos que el proyecto Liquencity demuestra la validez de las aproximaciones de ciencia ciudadana para abordar cuestiones científicas, haciendo especial énfasis en la realización de un muestreo acorde con los conocimientos de los ciudadanos. Conocimiento que, por otra parte, debe ser transmitido correctamente antes de su realización. Además, estas experiencias adquieren una nueva dimensión cuando las observaciones y resultados ofrecen una nueva perspectiva a problemas reales de la ciudadanía

Ciudad	Participantes	Observaciones totales	Observaciones tras filtrado	Especies identificadas
Madrid	1.091	3.891	3649	25
Barcelona	820	1.086	885	20
Total	1.991	4.977	4534	30

Tabla 1. Datos de participación y del número de especies identificadas en ambas ciudades. Los datos mostrados han sido filtrados. Se obtuvieron 3.891 observaciones para Madrid y 1.089 para Barcelona, de las que se filtraron 209 (~ 5.4 %) y 205 (18.82%) observaciones respectivamente ya que no cumplían los requisitos, así como especies de líquenes que no hemos podido identificar solo con las fotografías.

Bibliografía

- Asta, J., W. Erhardt, M. Ferretti, F. Fornasier, U. Kirschbaum, P. L. Nimis, O.W. Purvis, S. Pirintsos, C. Scheidegger & C. Van Haluwyn (2002) Mapping Lichen Diversity as an Indicator of Environmental Quality. In: Nimis P. L., C. Scheidegger & P.A. Wolseley (eds) *Monitoring with Lichens — Monitoring Lichens*. NATO Science Series (Series IV: Earth and Environmental Sciences), vol 7. Springer, Dordrecht.
- Callaghan, C. T., J. J. Rowley, W. K. Cornwell, A. G. Poore & R. E. Major (2019). Improving big citizen science data: moving beyond haphazard sampling. *PLoS biology* 17: e3000357.
- Cislaghi, C. & P. L. Nimis (1997) Lichens, air pollution and lung cancer. *Nature* 387: 463-464.
- Crespo, A., E. Manrique, E. Barreno & E. Serriá (1977) Valoración de la contaminación atmosférica del área urbana de Madrid mediante bioindicadores (líquenes epífitos). *Anales del Instituto Botánico A. J. Cavanilles* 34: 71-94.
- Delaney, D. G., C.D. Sperling, C.S. Adams & B. Leung (2008). Marine invasive species: validation of citizen science and implications for national monitoring networks. *Biological Invasions*, 10: 117-128.
- Grube M, D.L. Hawksworth (2007) Trouble with lichen: the re-evaluation and re-interpretation of thallus form and fruit body types in the molecular era. *Mycological Research* 111:1116-1132
- Honegger, R (2008). Mycobionts. In: Nash, T H. *Lichen biology* (2nd ed.). Cambridge, UK: Cambridge University Press, 27-39.
- Kosmala, M., A. Wiggins, A. Swanson & B. Simmons (2016). Assessing data quality in citizen science. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14: 551-560.
- Lelieveld, J., K. Klingmüller, A. Pozzer, U. Pöschl, M. Fnais, A. Daiber & T. Münzel (2019). Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. *European heart journal*, 40: 1590-1596.
- Lücking, R., B.P. Hodkinson & S.D. Leavitt (2017). The 2016 classification of lichenized fungi in the Ascomycota and Basidiomycota—Approaching one thousand genera. *The Bryologist*, 119: 361-416.
- Lukyanenko, R., J. Parsons & Y.F. Wiersma (2016). Emerging problems of data quality in citizen science. *Conservation Biology*, 30: 447-449.
- Matos, P., L. Geiser, A. Hardman, D. Glavich, P. Pinho, A.M.V.M. Nunes, Soares, & C. Branquinho (2017). Tracking global change using lichen diversity: towards a global-scale ecological indicator. *Methods in Ecology and Evolution*, 8: 788-798.
- McKinley, D. C., A.J. Miller-Rushing, H.L. Ballard, R. Bonney, H. Brown, S.C. Cook-Patton, D.M. Evans, R.A. French, J.K. Parrish, T.B. Phillips, S.F. Ryan, L.A. Shanley, J.L. Shirk, K.F. Stepenuck, J.F. Weltzin, A. Wiggins, O.D. Boyle, R.D. Briggs, S.F. Chapin III, D.A. Hewitt, P.W. Preuss & M.A. Soukup (2017). Citizen science can improve conservation science, natural resource management, and environmental protection. *Biological Conservation*, 208: 15-28.
- Seed, L., P. Wolseley, L. Gosling, L. Davies & S.A. Power (2013). Modelling relationships between lichen bioindicators, air quality and climate on a national scale: results from the UK OPAL air survey. *Environmental Pollution*, 182: 437-447.
- Sterrett, S. C., R.A. Katz, W.R. Fields & E.H. Campbell Grant (2019). The contribution of road based citizen science to the conservation of pond breeding amphibians. *Journal of Applied Ecology*, 56: 988-995.
- Tregidgo, D. J., S.E. West & M.R. Ashmore (2013). Can citizen science produce good science? Testing the OPAL Air Survey methodology, using lichens as indicators of nitrogenous pollution. *Environmental pollution*, 182: 448-451.

ALEJANDRO BERLINCHES DE GEA^{1,2} Y SERGIO PÉREZ-ORTEGA²

1. Laboratory of Nematology, Wageningen University & Research, Droevendaalsesteeg 1, 6708PB Wageningen, The Netherlands.

2. Departamento de Micología, Real Jardín Botánico, CSIC, Plaza de Murillo, 2, 28014 Madrid.

Sin fronteras

Hacia la evaluación del impacto de la escalada sobre la biodiversidad vegetal Mediterránea para promover medidas de conservación transfronterizas: proyecto *WorldClimb*

Debido al rápido crecimiento urbanístico y a la despoblación rural existente a nivel global, la naturaleza ha adquirido un nuevo valor, clave para la salud mental y el bienestar emocional de las personas (Bratman *et al.*, 2019). Esto se ha evidenciado aún más tras el confinamiento por la COVID-19, ya que la naturaleza ha servido como bálsamo para minimizar el estrés generado en la especie humana por la pandemia. Además, durante los últimos años, los espacios naturales han experimentado un gran auge de visitantes que realizan actividades deportivas como el senderismo, la escalada en roca, el ciclismo o los *trails* de montaña (Burgin and Hardiman, 2012). Por ello, los espacios naturales son hoy, además de

lugares de especial interés para la conservación de la biodiversidad, entornos clave para el bienestar psicológico y físico de las personas (Bratman *et al.*, 2019; Burgin Hardiman, 2012). Esto conlleva un gran desafío para su gestión, ya que estas actividades son también una potencial amenaza para el medio natural y para sus especies.

Entre estas actividades deportivas, la escalada merece especial atención. Su popularidad ha crecido enormemente y tiene unas previsiones de aumento de alrededor del 50-86% para los próximos 30 años (Cordell, 2012). Estos datos pueden ser aún mayores tras su presencia por primera vez en