

DOI: <http://dx.doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i2.10107>MARCO-MOLINA, J. A. *et al.* (2020). Cartografía corológica de detalle y calentamiento global
Cuadernos Geográficos 59(2), 287-307

287

Cartografía corológica de detalle y calentamiento global: *Genista longipes* Pau en la Serra d'Aitana (Alicante, España)¹

JUAN ANTONIO MARCO-MOLINA² | PABLO GIMÉNEZ-FONT^{2,3} | DAVID AZORÍN-AMORÓS² | ASCENSIÓN PADILLA-BLANCO² | ÁNGEL SÁNCHEZ-PARDO²

Recibido: 31/07/2019 | Aceptado: 11/11/2019

Resumen

Genista longipes Pau forma parte de los matorrales orófilos pulvinulares béticos, una de las comunidades vegetales más vulnerables al calentamiento global. Su distribución más oriental en la península Ibérica se localiza en la culminación de la Serra d'Aitana (Alicante), considerada un área refugio de extrema fragilidad ante cualquier alteración climática. En 2004 se realizó una cartografía corológica de detalle de la distribución de la especie en el sector oriental de la sierra, preferentemente a partir de 1475 msnm, registrándose una pequeña subpoblación aislada a 1300 msnm. Para tratar de entender esta localización disyunta se ha calculado el Índice de Termicidad para cuadrículas de 200 m de lado con el fin de determinar la extensión y subdivisión del piso supramediterráneo, modelizándose un escenario de aumento de las temperaturas que ocasionaría su extinción. Para verificar esta hipótesis, desde 2014 se realiza un seguimiento mediante un exhaustivo trabajo de campo con GPS de precisión. Los resultados arrojan datos controvertidos, puesto que la población aumentó significativamente entre 2004 y 2014 y se encuentra en un declive sostenido desde 2014 a 2018. Se discute el valor de la temperatura como única variable a tratar y la necesidad de analizar el papel del viento y del manejo histórico de la vegetación para entender su dinámica.

Palabras clave: Cartografía corológica; Índice de termicidad; cambio climático; montaña mediterránea

Abstract

Corological cartography of detail and global warming: Genista longipes Pau in the Serra d'Aitana (Alicante, Spain)

Genista longipes Pau is part of orophile pulvinular baetic scrubs, one of the one of the plant communities most vulnerable to global warming. Its easternmost distribution in the Iberian Peninsula is located at the culmination of the Serra d'Aitana (Alicante), considered a refuge of extreme fragility in the face of any climatic alteration. In 2004, a detailed corological cartography was made with the distribution of the species in the eastern sector of the sierra, preferably from 1475 mamsl, registering a small isolated subpopulation at 1300 mamsl. To try to understand this disjunct location, the Thermicity Index has been calculated for squares of 200 m on each side in

1. Esta aportación se inscribe en el Proyecto de Investigación I+D SIOSE-INNOVA (CSO2016-79420-R - AEI/FEDER, UE). Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, Programa Estatal de Investigación, Desarrollo e Innovación Orientada a los Retos de la Sociedad, en el marco del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2013-2016.

2. MedSPai. Universitat d'Alacant, España.

3. Email: pablo.gimenez@ua.es

order to determine the extension and subdivision of the supra-Mediterranean level, modeling a scenario of increased temperatures that would cause its extinction. To verify this hypothesis, since 2014 a follow-up is carried out through an exhaustive fieldwork with centimeter accuracy GPS. The results show controversial data, since the population increased significantly between 2004 and 2014 and is in a sustained decline from 2014 to 2018. The value of temperature is discussed as the only variable to be treated and the need to analyze the role of wind and the historical management of vegetation to understand its dynamics.

Keywords: Chorological cartography; thermicity index; climate change; Mediterranean mountain

1. Introducción

El estudio de la distribución y dinámica de plantas confinadas en sectores cacuminales ha recibido en las últimas décadas un creciente interés por parte de la comunidad científica, al tratarse de un elemento indicador del calentamiento climático (Grabherr et al., 1994, Gottfried et al., 2012, Valladares et al., 2015). Los hábitats vinculados a la media y alta montaña, en muchas ocasiones con un carácter extremófilo, son especialmente sensibles a las alteraciones térmicas, de forma que sus comunidades vegetales constituyen uno de los grupos más vulnerables al cambio global. Numerosas montañas, sobre todo algunas del mundo mediterráneo (Pérez-Luque et al., 2015), son singularmente vulnerables por su consideración de áreas refugio y debido a la fragilidad de sus ecosistemas ante pequeños cambios en la temperatura y la menor disponibilidad de agua (Gottfried et al., 2012) con incrementos de los períodos de sequía estival y reducciones de episodios de nevadas y espesores de nieve (Escudero et al., 2004; Giménez-Benavides et al., 2005). Por otra parte, se destacan también las particularidades de la flora endémica de zonas de montaña del sur de la Península Ibérica respecto a las del resto del Mediterráneo, ya que se ha observado que las pautas ecológicas son diferentes al resto de especies vegetales, sobre todo en algunas familias como *Fabaceae*. Predominan aquí los hemicriptófitos y los caméfitos, lo que revela su claro carácter orófilo y, por otra parte, tienen una clara tendencia a ocupar zonas rocosas o con escaso recubrimiento vegetal de tipo arbustivo (Melendo et al., 2003).

La hipótesis general de trabajo plantea un ascenso de los límites altitudinales de especies termófilas y una tendencia a la desaparición, debido a una disminución del área disponible, de especies orófilas. Las evidencias son numerosas, tanto en flora como en fauna -especialmente la insectívora-, donde se están detectando cambios en la riqueza y composición de las comunidades (Wilson et al. 2007; Moritz y Agudo, 2013). No obstante, numerosos autores llaman la atención sobre particularidades de la montaña mediterránea que complican la extrapolación de modelos lineales como los planteados: algunas especies de distribución ártico-alpina tienen aquí sus límites meridionales de distribución (Marco, 2001), otras muchas tienen la condición de endémicas y, la mayoría, han desarrollado estrategias de adaptación a periodos de actividad vegetativa determinados por la sequía estival (Giménez-Benavides et al., 2007). Esto ha repercutido en la presencia de comunidades con una plasticidad y unas capacidades de supervivencia que todavía no se conocen bien y que, en todo caso, complican el esquema descrito, refuerzan el peso de otros procesos relacionados con el cambio global y plantean controversias a pesar de las evidencias observadas.

Lógicamente, existen grandes diferencias en las respuestas de cada especie y a nivel de comunidad. Estas mismas respuestas pueden variar a lo largo de un gradiente altitudinal (Körner, 2007; Walas, 2019), donde pueden ganar o perder peso factores determinantes del éxito reproductivo

como la tolerancia fisiológica, la adaptabilidad fenológica, las interacciones entre planta-planta o planta-polinizador y la diversidad genética, entre otras (Kawecki, 2004; Chamorro et al., 2013). Por ejemplo, se afirma que en las montañas de mediana y elevada altitud del sur de la Península Ibérica los endemismos presentan una adaptación a la anemocoría y a la exozoocoría que asegura la supervivencia de estas pequeñas poblaciones (Melendo et al., 2003: 267); por lo tanto, sería de gran interés estudiar el comportamiento de los vientos, junto con la fauna vinculada a estas especies vegetales, así como las consecuencias y variaciones que hayan podido tener con el cambio climático, no únicamente desde el punto de vista térmico.

Para reconocer la presencia e importancia de estos factores se han realizado estudios de seguimiento de especies representativas (Pescador et al., 2015), que incluyen el análisis de patrones de dispersión, éxito reproductivo, siembras experimentales o polinización dirigida con parcelas permanentes. En España destacan los estudios realizados en la Sierra de Guadarrama, mediante análisis detallados con *Armeria caespitosa* Boiss. y *Silene ciliata* Pourr. (Escudero et al., 2012) o, en general, a través de la fotointerpretación de cambios de coberturas en ventisqueros, pastizales y matorrales abiertos (Muñoz y García, 2013). Estudios que manejan técnicas de trabajo diversas entre las que, sin embargo, aparece escasamente la cartografía a escala de detalle, es decir, aquella que permite representaciones a nivel de ejemplar o conjunto de ejemplares para obtener localizaciones y perímetros exactos de distribución de las poblaciones.

1.1. Área y objeto de estudio

En el presente estudio se pretende, a partir del análisis de especies cacuminales en la Serra d'Aitana (Alicante), destacar la importancia de esta técnica como método fundamental de localización y seguimiento de comunidades, especialmente válido para la detección de las poblaciones más vulnerables y para el correcto entendimiento de la dinámica de las comunidades vegetales durante periodos de análisis que superan los diez años. En concreto, el estudio se centra en *Genista longipes* Pau (*Fabaceae*) (Imagen 1) con la descripción de los métodos desarrollados para su seguimiento, junto con la comparación de los resultados de un modelo prospectivo de cambio climático y los cambios reales ocurridos en una subpoblación localizada en una cota inusualmente baja.

Imagen 1. *Genista longipes* Pau en la culminación de la Serra d'Aitana



Fuente: fotografía de los autores, 28 de mayo de 2007.

Este caméfito pulvinular (popularmente conocido en Aitana como *eriçó groc*) es un endemismo ibérico presente en las montañas calizas del sureste peninsular (Serra d'Aitana, Calar del Mundo, sierras de Espuña y Seca, macizo de Cazorla-Segura, sierras de la Sagra, de María y de los Filabres) (Mapa 1), localizada por encima de los 1000 msnm, sobre litosoles y en los sectores más afectados por la presencia de vientos. La representación más septentrional de *Genista longipes* Pau, junto con otro matorral xeroacántico de interés como es *Vella spinosa* Boiss., se encuentra en la culminación de Aitana (Castroviejo et al., 1993). Este rasgo finícola en su área de distribución la convierte en un potencial bioindicador del cambio climático, al menos con carácter puntual en esta elevación montañosa, tanto en el caso de que se produzca un calentamiento como un descenso de las temperaturas. La población existente en la actualidad es de reducidas dimensiones, fragmentada, discontinua y mayoritariamente acantonada en las zonas culminantes por encima de 1450 metros del sector oriental de dicha sierra (Mapa 2).

Mapa 1. Distribución de *Genista longipes* Pau en España por provincias (color verde) y localización en CUTM de 10x10 km (color rojo).



Fuente: ANTHOS (2019) y Medspai (Grupo de Investigación Medio, Sociedad y Paisaje de la Universitat d'Alacant).
Elaboración propia.

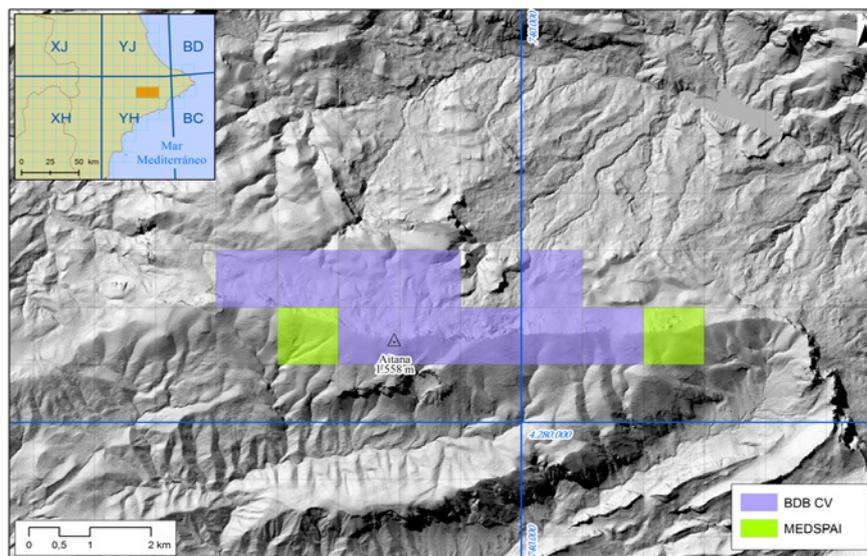
A partir de la presencia de estas especies, pero también de su singularidad altitudinal, orientación y cercanía al mar, la Serra d'Aitana se puede considerar como un laboratorio natural para el estudio del cambio climático y del calentamiento global. Su configuración como elevación más oriental del conjunto bético, que alcanza los 1558 msnm (Marco, 2001), la convierten en área refugio de un grupo de especies cuya área de distribución se ha ido reduciendo desde el último máximo glacial y, más recientemente, tras el fin de la Pequeña Edad del Hielo hasta nuestros días (Marco et al., 2006a). Hay que tener en cuenta, a este respecto, que su cercanía al mar y la influencia de las brisas y nieblas estivales (Martínez-Ibarra, 2006) fijan las temperaturas máximas medias anuales de su cumbre en 11.4°C, el lugar más fresco de la Comunitat Valenciana si exceptuamos los 11.1°C de Penyagolosa (1813 msnm), así como una oscilación térmica diaria estimada en solo 4.4°C de media, según las proyecciones de Miró (2014).

En análisis realizados mediante la Worldwide Bioclimatic Classification System (Rivas-Martínez et al. 2011) para la España peninsular en el periodo comprendido entre 1951 y 2010, la Serra d'Aitana se considera dentro de las áreas de “moderado cambio climático” (López et al. 2017) con variaciones en indicadores bioclimáticos como la continentalidad (aumento térmico estival) y, por ende, en los termotipos, con un descenso del porcentaje de ocupación del piso supramediterráneo (en adelante, Sme). De forma más detallada, el análisis de registros térmicos tomados en la cima de Aitana entre 2001 y 2004, y gestionados a través de downscaling estadístico e interpolación espacial a una alta resolución para el periodo 1948-2011 (Miró et al., 2015; Miró et al., 2016) revelan un incremento significativo de las temperaturas mínimas ($\sim 1^{\circ}\text{C}$) en sectores elevados de la Comunitat Valenciana, siendo mucho más acusado en el subperíodo 1980-1997 y estabilizándose con posterioridad hasta 2011, fin de los análisis. Respecto al periodo de referencia analizado se observa una reducción evidente del piso supramediterráneo -especialmente del Sme superior- en la Serra d'Aitana entre 1997 y 2011 (Miró et al., 2015: 156).

Teniendo en cuenta todos estos aspectos, se plantea la hipótesis de partida de esta investigación: comprobar la correspondencia entre el mencionado calentamiento con la reducción del área de distribución de *Genista longipes* Pau en la Serra d'Aitana, como espacio finícola de esta especie.

Para ello, es fundamental conocer la distribución de este taxón en dicho espacio montañoso. En julio de 2004 se elaboró, mediante el uso de un GPS submétrico, una cartografía corológica de detalle de las especies orófilas anteriormente referidas, con límite de distribución en la cima de Aitana: *Vella spinosa* Boiss. y *Genista longipes* Pau. Gracias a la exactitud de dicha información, se puede realizar en la actualidad un control y seguimiento de estas poblaciones. Así se ha procedido con fragmentos de subpoblaciones de ambas especies durante julio de 2019 (quince años después del primer censo); si bien, para la subpoblación disyunta de *Genista longipes* Pau, localizada a una altitud inferior (1250 msnm) respecto del área de distribución conocida, se realizaron censos de mayor frecuencia a partir de los diez años de la primera toma de datos, puesto que, hipotéticamente, se trataría de los ejemplares más sensibles ante cualquier alteración de las condiciones climáticas (Mapa 2).

Mapa 2. Distribución de *Genista longipes* Pau. en Serra d'Aitana en CUTM de 10 x10 km y 1x1 km, donde se señala la nueva ubicación localizada.



Fuente: Banco de Datos de la Biodiversidad de la Comunitat Valenciana (BDB CV) y Medspai (Giménez et al., 2004 y Marco et al., 2006a y 2006b). Elaboración propia.

Si bien un incremento o descenso de las temperaturas puede afectar al área de distribución de esta especie, hay que tener en cuenta las apreciaciones anteriormente realizadas para los matorrales caméfitos pulvinulares y su vinculación con el viento en la dispersión de las semillas. Por lo tanto, es fundamental conocer y, sobre todo, entender los factores de distribución. De estas dos variables climáticas, la temperatura ha sido la más estudiada, hasta el punto de ser empleada como uno de los criterios para la definición de pisos bioclimáticos a través del cálculo del Índice de Termicidad (en adelante It) propuesto por Rivas-Martínez (1987) y revisado en trabajos posteriores (López et al. 2008, López et al. 2017). De este modo, es interesante conocer cuál es el rango de It para *Genista longipes* Pau en la Serra d'Aitana puesto que, esta especie se considera bioindicadora del piso bioclimático oromediterráneo (Rivas-Martínez, 1987: 98) a pesar de que, en este ámbito, este termotipo no aparece definido a partir de los cálculos realizados. Consideración que obliga a plasmar los It de manera más detallada, de forma que se pueda obtener un resultado más ajustado con el que plantear el escenario de extinción de *Genista longipes* Pau ante un posible aumento de las temperaturas.

2. Metodología

La elaboración de cartografía de detalle con su correspondiente base de datos georreferenciada es fundamental para conocer el área de distribución de cualquier especie y determinar su grado de amenaza según los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Igualmente resulta básico realizar el seguimiento y control de su corología y, por tanto, poder elaborar medidas de conservación y protección ajustadas a esa realidad (Pauli et al. 2015). Por todos estos motivos, desde 2004 se realiza una toma de datos *in situ* de especies orófilas con GPS submétrico (*GeoXT* de la serie *Geoexplorer CE* de Trimble), concretamente en el sector oriental de la Serra d'Aitana que, tras su tratamiento, se integran en un SIG (*ArcGIS*® y *Qgis*).

Desde esa fecha hasta la actualidad, la evolución en estos dispositivos ha sido considerable, reduciéndose los errores que se podían producir en los receptores GPS como rebotes de señales o pérdidas de ciclos, entre otros, y que se han ido solventando con la corrección diferencial, es decir, cotejar los datos tomados en el campo con una antena base de posición conocida con gran exactitud. A lo largo de estos años se ha incrementado la red de estaciones base, cada vez más densa y más próxima al área de estudio: "SOPAC Ebro" del Instituto Geográfico Nacional (Roquetes, Tarragona) en un principio y la red "ERVA" del Institut Cartogràfic Valencià (Alcoi, Alicante) en la actualidad. Precisión incrementada con la mejora de los diferentes receptores GPS usados para esta investigación, con un error estimado, actualmente, inferior a los 15 cm.

Los transectos planificados para recorrer la sierra permitieron un barrido sistemático del área de estudio (Marco et al., 2006b) en el que se registraron datos poligonales para los grupos con varios individuos y datos puntuales en el caso de ejemplares aislados de *Genista longipes* Pau, de la que se ha continuado realizando el seguimiento en años posteriores con el fin de conocer las posibles modificaciones no sólo en el número, sino también en la superficie ocupada. Para el caso de la subpoblación disyunta, se ha registrado información sobre el tamaño de cada ejemplar, así como de su estado de conservación teniendo en cuenta si se encontraba total o parcialmente seco, calculando el porcentaje de planta seca y planta verde. En el caso de la parcela experimental analizada, a los datos de 2004 se han añadido censos detallados realizados en julio de 2014, 2016 y 2018. Cada ejemplar está fotografiado, medido y georreferenciado, para evitar confusiones, especialmente rebrotes de ejemplares dados por secos o desaparecidos.

Para el tratamiento de la temperatura, al no existir una serie de datos térmicos adecuada, se han empleado los datos en bruto del Atlas Climático Digital de la Península Ibérica (en adelante ACDPI) con el fin de obtener el It a una escala más detallada que la disponible en la actualidad (Piñas et al. 2008). Se ha trabajado con los datos térmicos ofrecidos por el ACDPI que provienen de una interpolación espacial basada en el análisis de regresión múltiple a partir de estaciones próximas de Alcoi, Alcoleja y Polop, teniendo en cuenta variables independientes como la orografía, la continentalidad, la latitud y la radiación solar y otras variables dependientes como, en este caso, la temperatura (Ninyerola et al., 2005). En total, se han cubierto 1420 cuadrículas de 200 m de lado correspondientes al área de estudio (5680 ha), definida mediante un grid generado con las mencionadas cuadrículas. Los datos del ACDPI se han descargado y visualizado mediante el software MiraMon®; los datos térmicos correspondientes a cada cuadrícula se han tratado estadísticamente a partir de la expresión definida por Rivas-Martínez (1987):

$$It = (T + m + M) 10$$

donde (T) es la temperatura media anual, (m) la temperatura media de las mínimas del mes más frío y (M) la temperatura media de las máximas del mismo mes. Los resultados se han incorporado posteriormente en un SIG (ArcGis® v.10.4) mediante un archivo en formato .csv, junto con los datos corológicos obtenidos en el campo. Igualmente, se ha propuesto una subdivisión interna en siete subhorizontes para adaptar esta cartografía al detalle de los datos corológicos disponibles (Tabla 1) junto a la obtención de isothermas, anuales y mensuales, de la temperatura media, media de las mínimas y media de las máximas. Una metodología que ya ha sido testada positivamente para la elaboración de cartografía fitoclimática a gran escala cuando se hace intervenir la corología de precisión (Azorín y Jover, 2010; Marco et al., 2016; Azorín, 2017).

Tabla 1. Propuesta de clasificación de los subhorizontes del supramediterráneo inferior (Smei), con valores de It.

SUBHORIZONTES	VALOR DE IT
Smei ₇	151-160
Smei ₆	161-170
Smei ₅	171-180
Smei ₄	181-190
Smei ₃	191-200
Smei ₂	201-210
Smei ₁	211-220

Fuente: Elaboración propia.

La principal ventaja de esta fuente de datos climáticos reside en la disponibilidad, accesibilidad y generalización de los datos, ya que son gratuitos y abarcan la totalidad de la península Ibérica, lo que facilita la elaboración de estudios comparativos y el análisis de la distribución de taxones en territorio peninsular.

Finalmente, para la aproximación a los escenarios de extinción de *Genista longipes* Pau, basados en la modificación del It y de los pisos bioclimáticos, se han determinado los aumentos de T, m y M en el contexto de las proyecciones regionalizadas de cambio climático del AR5-IPCC ofrecidas por la Agencia Estatal de Meteorología-AEMet para el escenario de emisión A2 (Brunet et al, 2009; Amblar-Francés et al. 2018). Aunque no se trata de proyecciones de alta resolución,

permiten contextualizar un escenario de cambio para, mediante un resultado cartográfico, apreciar la reducción del piso supramediterráneo que presumiblemente ocasionaría la extinción de la especie en el área de estudio.

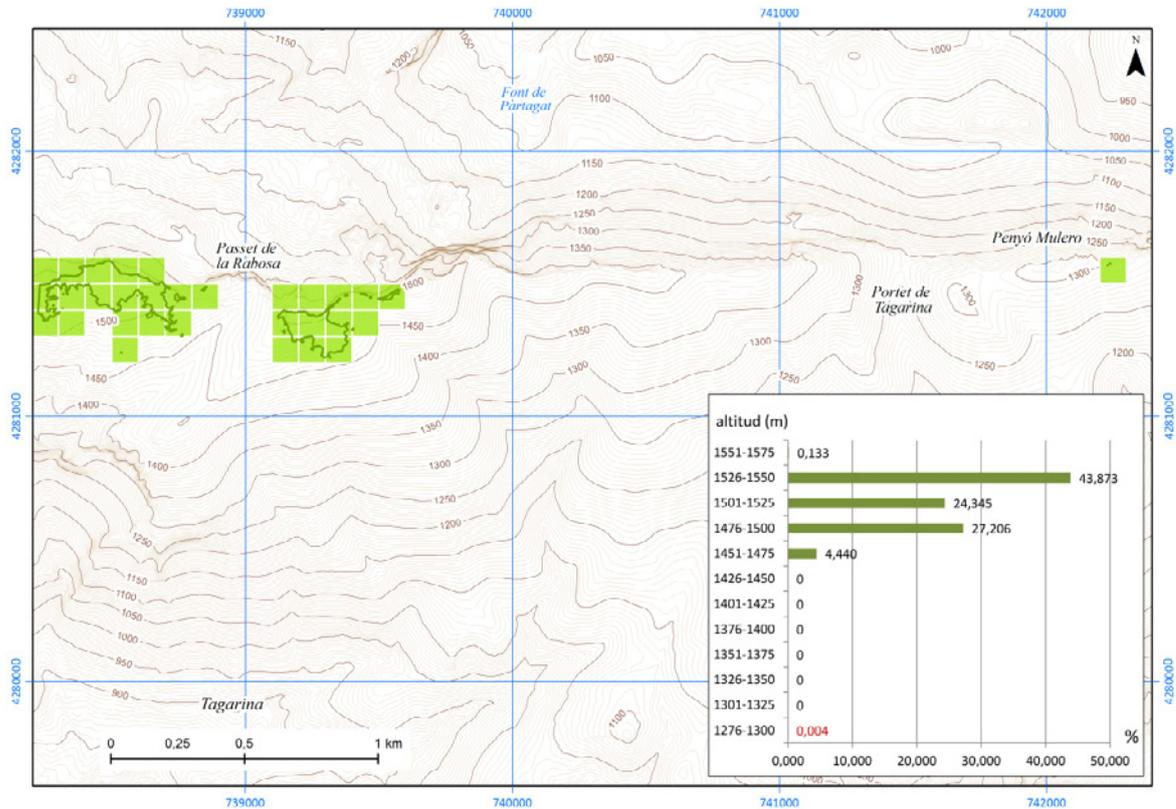
En resumen, el trabajo se ha enfocado a partir del análisis de la distribución detallada de la especie, la posible explicación térmica de dicha distribución, los escenarios de cambio y la revisión y discusión de dicha distribución, quince años después, para verificar la hipótesis de partida.

3. Resultados

3.1. Distribución de la especie

El exhaustivo trabajo de campo y el registro de la ubicación de ejemplares de *Genista longipes* Pau con GPS submétrico ha permitido conocer la distribución de esta especie en el sector oriental de la Serra d'Aitana con una gran precisión, tal y como se muestra en la cartografía adjunta (Mapa 3). La fragmentación de estas poblaciones, separadas entre sí por vaguadas, nos indican una potencial sensibilidad ante un cambio climático o una perturbación de su hábitat. Se podría afirmar, incluso, que aquellas poblaciones localizadas en los sectores culminantes se corresponderían con su óptimo; mientras que las más distanciadas o marginales -con ejemplares más pequeños y deslavazados- serían las que se ubican en condiciones ambientales límite y que pueden determinar su extinción. Dentro de este segundo grupo, se encuentra la cita inédita de la pequeña población localizada al este del Portet de Tagarina (Mapa 3) a unos dos kilómetros y medio de distancia del área de distribución principal y a una cota inferior, unos 1300 msnm, a la marcada como característica para esta especie, 1450 msnm, que se corresponde con la cota general establecida por Castroviejo *et al.* (1993). Mediante el análisis espacial de la superficie ocupada por la planta en relación con una capa de información hipsométrica, se ha obtenido la distribución porcentual del área de *Genista longipes* Pau en cada uno de los intervalos altimétricos utilizados (equidistancia de 25 m). Los resultados revelan que, efectivamente, a partir del intervalo altitudinal de 1475.1 y 1500.0 msnm su presencia es significativa, alcanzando el máximo porcentaje en el intervalo 1525.1 - 1550.0 msnm, con un 43.8% del total; mientras que, en el intervalo de 1450.1-1475.0 msnm su presencia se reduce a poco más del 4%. Por debajo de ese intervalo, no vuelve a aparecer hasta altitudes comprendidas entre 1275.1 - 1300.0 msnm, con un porcentaje insignificante que subraya la excepcionalidad de la pequeña subpoblación estudiada. De hecho, se trata de una aportación no incluida en el Banco de Datos de la Biodiversidad de la Comunitat Valenciana (en adelante BDB) y que representa la cita más oriental de la distribución de *G. longipes* Pau en la península Ibérica.

Mapa 3. Corología de detalle de *Genista longipes* Pau en el sector oriental de la Serra d'Aitana. Poblaciones y CUTM de 0,1 x 0,1 km, junto con gráfica de distribución por intervalos de altitud



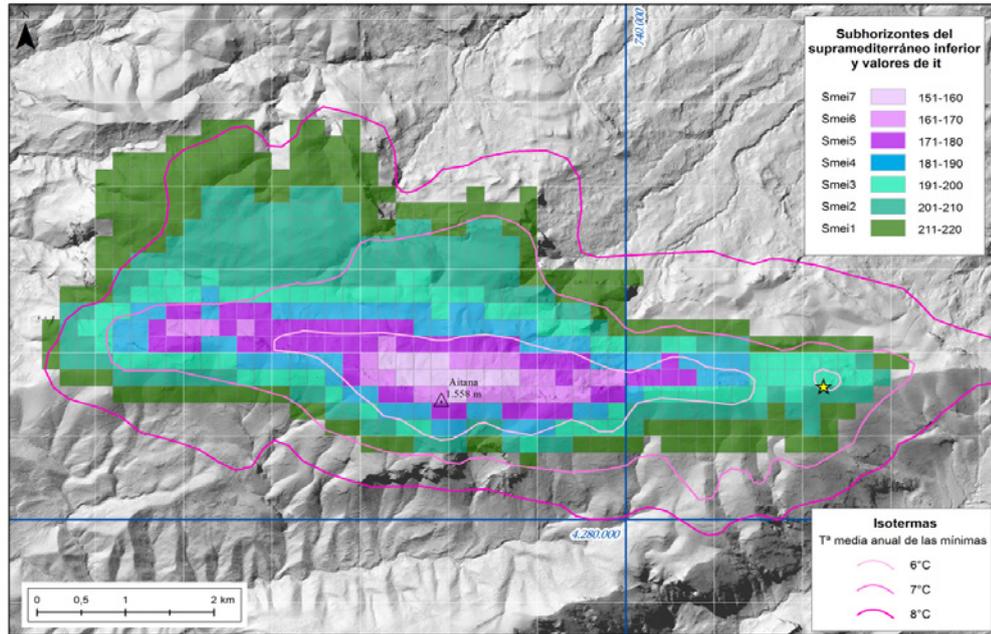
Fuente: Medspai. Elaboración propia.

3.2. La posible explicación térmica y los escenarios de extinción

Inciendo en la particularidad climática del área de estudio, cabe indicar que, después de la cercana del Puig Campana (1410 msnm), se estima que la cumbre de Aitana es el lugar más fresco entre junio y agosto de toda la Comunitat Valenciana, junto con una baja oscilación térmica (Miró, 2014). Esto ocurre gracias al predominio de brisas estivales derivadas de su proximidad al mar, que evitan un excesivo calentamiento diurno continental al enfriarse rápidamente los vientos por su acusado ascenso en un corto recorrido. Junto a esta característica, hay que señalar la incidencia de vientos del primer cuadrante, especialmente del NE, que corresponden con dichas brisas de componente marítima respecto de los cuales la subpoblación estudiada presenta una mejor orientación.

Con estas premisas, la superposición de los datos obtenidos del ACDPI con los de la distribución de la planta permite comprobar que la mayor parte de la población de *Genista longipes* Pau se sitúa en un intervalo del It comprendido entre 155 y 171, siendo este último el que, altitudinalmente, marcaría el límite inferior de distribución de la especie. No obstante, la subpoblación disyunta objeto de estudio se localiza en una cuadrícula cuyo It es de 192: una diferencia significativa que reafirma la singularidad de esta población más oriental (Mapa 4).

Mapa 4. Subhorizontes de piso supramediterráneo e isotermas de la temperatura media anual de las mínimas. La estrella amarilla identifica la localización de la subpoblación más oriental.



Fuente: modificado de Marco *et al.* (2016). Elaboración propia.

En clara correspondencia con el descenso altitudinal, las variables térmicas analizadas (Tabla 2) señalan diferencias de entre 0.5 °C y 1 °C entre la subpoblación principal y la oriental, salvo la isoterma de la temperatura media anual de las mínimas, donde hay una coincidencia en los valores correspondientes a cada subpoblación. Esta última isoterma parece un factor explicativo de primer orden para comprender la presencia de la pequeña población disyunta a 1300 msnm.

Tabla 2. Relación de las variables térmicas con las subpoblaciones de *G. longipes* Pau estudiadas.

VARIABLES TÉRMICAS	SUBPOBLACIÓN PRINCIPAL (°C)	SUBPOBLACIÓN ORIENTAL (°C)
Tª media anual	<11	<11.5
Tª media de enero	~ 3	~ 4
Tª media de las máximas de enero	< 7.5	< 8.5
Tª media de las mínimas de enero	~ -1	~ 0
Tª media anual de las máximas	< 11	< 11.5
Tª media anual de las mínimas	< 6	< 6

Fuente: ACDPI y Azorín (2017). Elaboración propia.

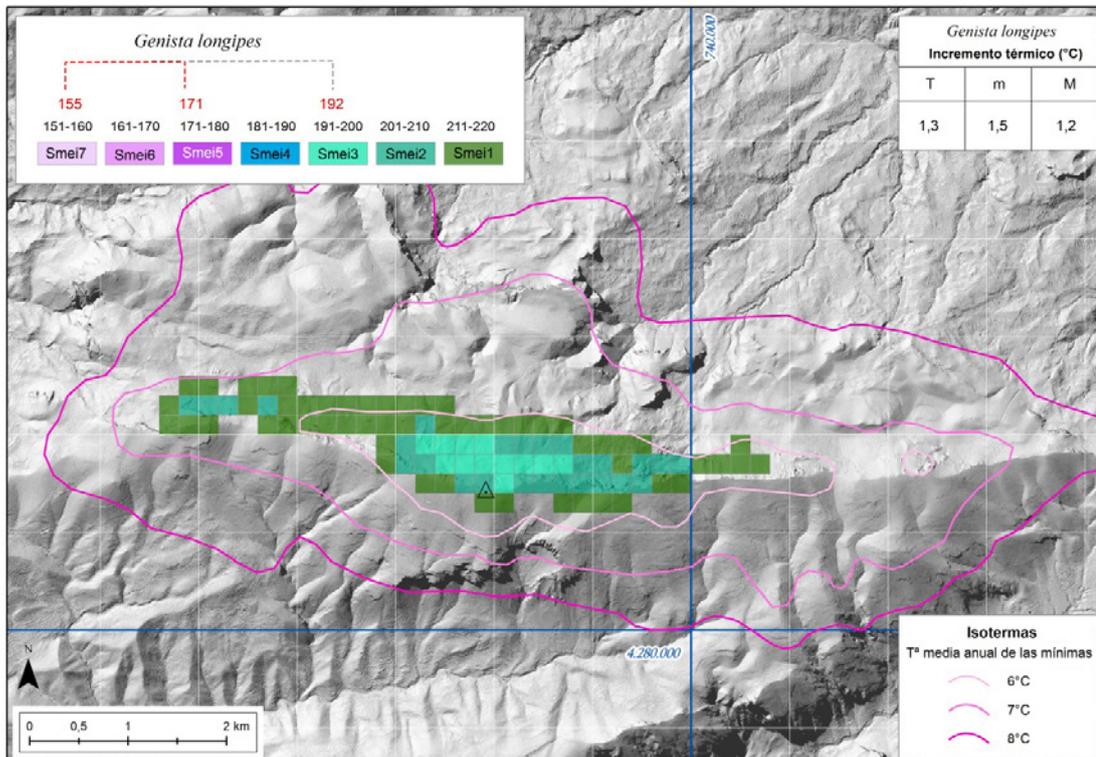
Como se ha señalado, la hipótesis de trabajo parte de considerar que las poblaciones de *Genista longipes* Pau en Aitana, a tenor del calentamiento global, están experimentando una reducción. De hecho, otros estudios basados en *downscaling* estadísticos e interpolación espacial de las temperaturas a una alta resolución (periodo 1948-2011) han demostrado una tendencia al calentamiento, el cual resulta más significativo (~1°C) en lo que a las temperaturas mínimas se refiere, en zonas elevadas de la Comunitat Valenciana (Miró *et al.*, 2015). Dicho aumento ha sido muy acusado en el subperiodo 1980-1997, estabilizándose posteriormente hasta 2011. En buena lógica, este aumento real de las temperaturas se ha debido trasladar también, de manera espacial, a los

valores de los It, de manera que el piso supramediterráneo ha debido experimentar una sensible reducción en las últimas décadas, tal y como refrendan distintos estudios (Miró et al. 2016, López et al. 2017).

Partiendo de esta base y con una perspectiva de futuro, se ha realizado un ensayo para valorar la situación del piso supramediterráneo que provocaría la extinción de *Genista longipes* Pau, aplicando diferentes incrementos sobre la temperatura media anual, la media de las mínimas del mes más frío y la media de las máximas del mismo mes (Mapa 5). Se obtiene, así, un escenario que puede servir de base para integrar los resultados en diferentes modelos predictivos de cambio climático, que anuncian, en todos los casos, la reducción e incluso la desaparición de la especie en Aitana (Azorín, 2017).

En este caso, a partir de los registros obtenidos con localizaciones de *Genista longipes* Pau, la especie está presente en cuadrículas que presentan valores de It entre 153 y 192, lo que señala que la planta ya no se reproduce cuando el It es igual o superior a 193. En Aitana el valor mínimo de 153 está presente en dos cuadrículas que resultan de los siguientes registros térmicos: T = 10.3 °C, m = -1.7 °C y M = 6.7 °C; mientras que el valor 193 aparece en ocho cuadrículas con los siguientes valores medios: T = 11.6 °C, m = -0.2 °C y M = 7.9 °C. A partir de estos datos y teniendo en cuenta las proyecciones regionalizadas de cambio climático del AR5-IPCC (Amblar-Francés et al. 2018), se ha considerado un incremento térmico de 1.3 °C para T, de 1.5 °C para m y de 1.2 °C para M. Es decir, un conjunto de valores medios que determinan que las cuadrículas con It 153 aumenten hasta 193, situación en la cual supuestamente desaparecería este taxon.

Mapa 5. Situación del piso supramediterráneo que provocaría la extinción de *Genista longipes*, con indicación de T (temperatura media anual), m (temperatura media de las mínimas del mes más frío) y M (temperatura media de las máximas del mes más frío).



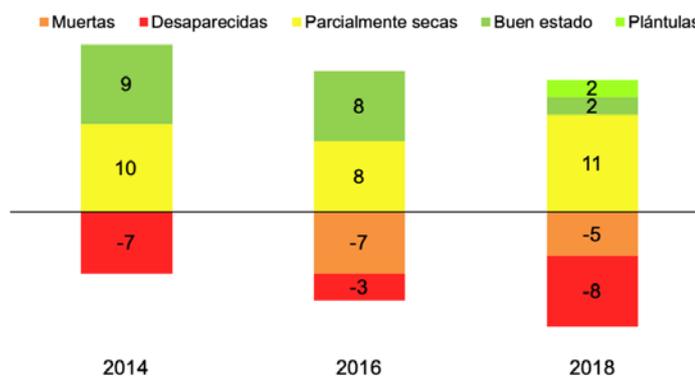
Fuente: Azorín (2017). Elaboración propia.

Si se analiza con detenimiento la situación del horizonte Smei basándonos en la subdivisión interna propuesta, aparecen matices notables (Mapa 5): desaparecería el Smei₄, mientras que más de la mitad de las cuadrículas pertenecerían al Smei₁; es decir, estarían en contacto directo con el horizonte Mesomediterráneo superior. De hecho, aplicando este escenario de extinción de la especie al resto de sectores de la provincia de Alicante donde hay presencia de Sme, se comprueba que, salvo Aitana, la desaparición del piso Sme es prácticamente completa, a excepción de tres cuadrículas en la cima del Menejador, en Mariola (Azorín, 2017).

3.3. Seguimiento de la subpoblación disyunta

Las particularidades de la pequeña población descrita la hacen merecedora de un seguimiento más exhaustivo, tras el primer censo de 2004. Para ello, se han realizado nuevos inventarios, aplicando la misma metodología de cartografía de detalle, en los meses de agosto de 2014, 2016 y 2018. El objetivo busca conocer la evolución y dinámica de la población, que a priori debería ser regresiva atendiendo a la hipótesis inicial. No obstante, los resultados del censo de 2014 ofrecieron cifras aparentemente contradictorias con la idea inicial. En agosto de 2004 el número de plantas censadas fue de 5; ejemplares que, en un principio, se asumieron como efímeros dado el contexto de cambio climático aludido. No obstante, en 2014 la cifra ascendió hasta un total de 26 ejemplares. A la vista de los inesperados resultados, se decidió añadir más información que la recogida en el primero de los inventarios, con estudios de detalle sobre cada ejemplar, tal y como se ha descrito en la metodología.

Gráfico 1. Comparación de censos de la subpoblación oriental de *Genista longipes* Pau en Aitana (2014, 2016 y 2018)



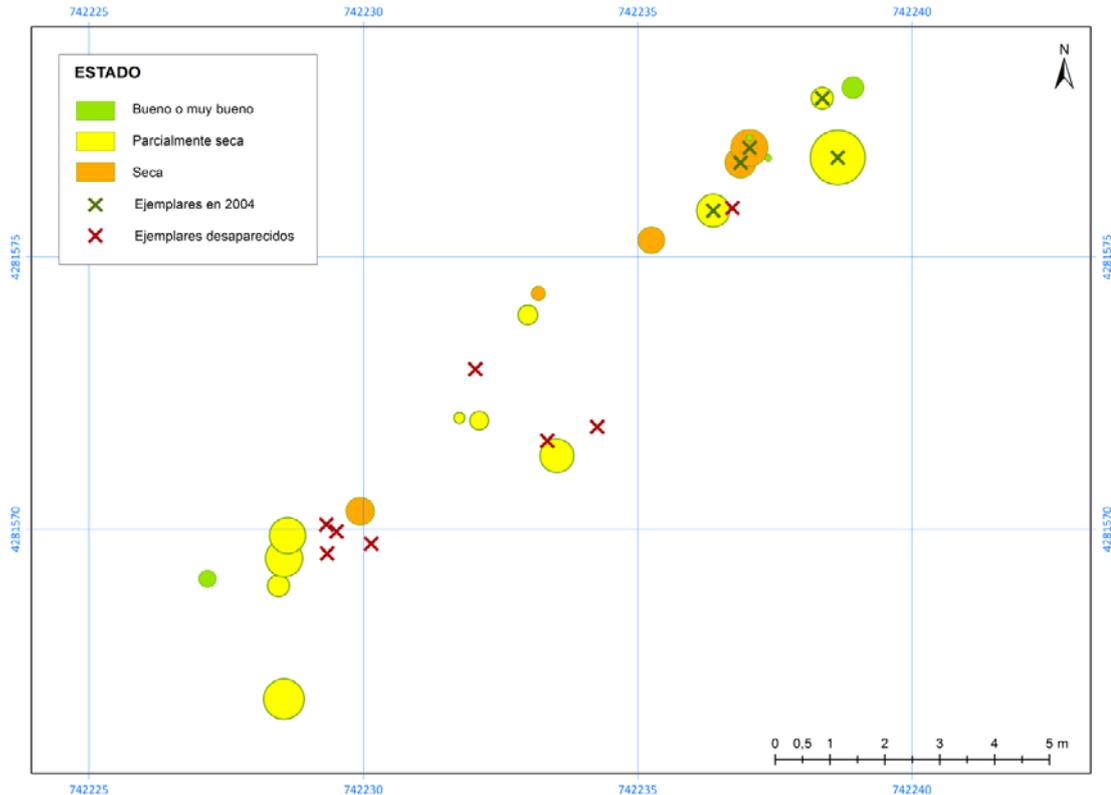
Fuente: Elaboración propia.

De hecho, esta subpoblación, que aparentemente se ha quintuplicado, presenta una enorme heterogeneidad en cuanto al estado en el que se encontraron los ejemplares durante el año excepcionalmente seco de 2014 (Gráfico 1 y Mapa 6) ya que siete de las plantas estaban, en realidad, completamente secas, mientras que diez ejemplares se encontraban en mal o muy mal estado (más del 50% de la superficie de la planta seca). Cabe recordar que 2003 también fue un año muy seco (246,2 mm registrados en la cima, frente a los 546,5 mm de 2002 y los 926 mm registrados en 2004 hasta noviembre) pero se estima que 2014 fue un episodio de sequía todavía más extremo⁴ y

4. Los únicos datos disponibles se corresponden con los de la estación de Alcoleja-Beniafé (745 msnm), donde se registraron 290,8 mm en 2014, cuando la media estimada para esta localidad está entre los 600 y 700 mm (Marco, 2001). Otras evidencias de esta sequía extrema se observó en la sierra con la seca de carrascas adultas.

la respuesta de la población no fue tan drástica. En el censo de 2016 desaparecieron 3 ejemplares -ya secos en 2014- y hubo nuevas muertes, reduciéndose la cifra total de plantas vivas -parcialmente secas o en buen estado- a 16 ejemplares. En agosto de 2018, se censaron 8 ejemplares desaparecidos, 5 muertos, 11 parcialmente secos y solo 2 en buen estado. De estas 15 plantas vivas, únicamente 4 presentaban frutos y cabe destacar la presencia de 2 nuevos ejemplares -plántulas- con respecto a 2016.

Mapa 6. Síntesis dinámica de la subpoblación oriental de *Genista longipes* Pau en Aitana (2004-2018), con tamaño de ejemplares.



Fuente: Elaboración propia.

Se aprecia, tras el sorprendente aumento de ejemplares entre 2004 y 2014, un paulatino descenso de los ejemplares vivos, ya que en términos absolutos se pasa de 19 a 15, mientras que el incremento de la mortalidad es la otra tendencia remarcable, con valores de ejemplares muertos y desaparecidos que evolucionan desde los 7 ejemplares de 2014 a los 13 de 2018.

Queda pendiente de evaluar, no obstante, el cambio de las respuestas individuales en términos vegetativos y reproductivos (Lloret, et al. 2012) así como su posible vinculación con factores estresantes como la temperatura, la humedad o el pisoteo, tal y como se discutirá más adelante.

4. Discusión

La cartografía fitoclimática a escala de detalle generada a partir del ACDPI (Marco et al., 2016; Azorín, 2017) y su idoneidad para analizar la corología de determinadas especies en relación con las temperaturas, puede considerarse adecuada por diversos motivos.

Por una parte, porque se basa en una adaptación del It, el cual es de aceptación generalizada. El índice confiere un peso fundamental al frío estacional y altitudinal, corrigiendo el peso del valor de las mínimas del mes más frío (m) con la media de las máximas también del más frío del año (M). En multitud de trabajos se ha demostrado su elevada correlación con la distribución de las plantas y sus fitocenosis en todo el planeta. Por otra parte, porque el It se ha calculado a partir de la modelización climática realizada por ACDPI. Su acierto radica en que ofrece información climática obtenida mediante interpolación espacial basada en el análisis de regresión múltiple, con lo que se predice el valor de la temperatura para cada celda del territorio; información que resulta crucial para entender el comportamiento de numerosos fenómenos tanto bióticos como abióticos (Ninyerola, 2000: 6). Qué duda cabe que el gran desarrollo experimentado por las tecnologías de información geográfica desde que se publicó *Memoria del mapa de series de vegetación de España* (Rivas-Martínez, 1987) ha permitido incrementar la objetividad, mejorando sustancialmente la cartografía del It, que inicialmente se basaba en los datos de un número reducido de estaciones térmicas o termopluiométricas. Sin embargo, esta última consideración debe ser tomada con reservas, ya que los métodos numéricos no pueden explicar el conjunto de anomalías -es decir, la gran variabilidad intrínseca de la naturaleza- que aparecen en los modelos y que exigen una revisión detallada por parte de expertos. Efectivamente, como ya quedó demostrado para el caso del Puig Campana (Azorín y Jover, 2010), gracias a la corología de *Erinacea anthyllis* Link, *Ulex parviflorus* Pourr. y *Thymelaea tartonraira* (L.) All. subsp. *valentina* (Pau) O. Bolòs & Vigo (Marco et al., 2016: 14), el It cartografiado con base en los datos aportados por ACDPI requiere, en ocasiones, de un buen conocimiento del complejo ecológico por parte del investigador para matizar el resultado obtenido.

Además, la división en subhorizontes, e incluso la posibilidad de obtener un valor numérico concreto del It para una superficie de 4 ha, supone un salto cualitativo a la hora de generar cartografía fitoclimática. Evidentemente, este nivel de detalle para este tipo de cartografía parecería sobredimensionado si no se hace intervenir la otra variable que nos interesa, es decir, la corología, con un grado similar en cuanto a su precisión. En este sentido, los resultados ofrecen la fortaleza de haber estado cruzados con cartografía corológica de detalle en la que se han georreferenciado diferentes taxones con GPS de precisión submétrica (Giménez et al., 2004; Marco et al., 2006a y 2006b). Este conjunto de factores han permitido elaborar una posible hipótesis térmica para explicar la subpoblación, especialmente relacionada con la media anual de las temperaturas mínimas y centrar el análisis atendiendo a lo que explican otros modelos similares de reducción del piso Sme: aumento de las temperaturas y continentalización. A este respecto, a su localización disyunta cabe añadir que se trataría de la población con menos probabilidades aparentes de cambio, debido, precisamente, a una exposición a los vientos de componente marítima más favorable que las poblaciones principales localizadas en la zona culminante de Aitana.

Con todo, la cartografía corológica de detalle y los resultados del seguimiento de la población analizada obligan a reconsiderar la hipótesis de partida, ya que parece que la variable térmica y el aparente retroceso del piso supramediterráneo no son suficientes para sustentarla. Refuerza esta idea los resultados de la revisión realizada en 2019 sobre poblaciones fragmentadas y perímetros de las manchas principales tanto de *Genista longipes* Pau como de *Vella spinosa* Boiss. en el bloque culminante de Aitana (Imagen 2). Los datos de campo evidenciaron pocos cambios desde 2004, con la presencia de la mayor parte de los individuos 15 años después y, en todo caso, un incremento de la mortalidad o una degradación del estado de conservación de los ejemplares que conforman el límite meridional de la subpoblación de *Vella spinosa* Boiss.

Imagen 2. Ejemplar de *Vella spinosa* Boiss. en el área de estudio, con 15 años de diferencia: julio de 2004 (arriba) y julio de 2019 (abajo).



Fuente: Medspai, en ambos casos.

Si la presumible variación positiva de la temperatura no parece ser concluyente, cabría analizar otros posibles factores explicativos. En lo que a la innivación se refiere, se puede descartar, de partida, un descenso en las últimas dos décadas: series de datos obtenidos en la propia sierra (tomados a 965 msnm desde 1977 hasta la actualidad) indican un aumento en número e intensidad de las nevadas durante el siglo XXI (Mirete, 2017; Moltó, 2019) sin que se pueda determinar ni la duración media de la nieve, ni el papel de este incremento en una posible expansión de la planta desde 2004. Si bien, la coincidencia es máxima entre este incremento y el aumento de la subpoblación de *Genista longipes* Pau entre 2004 y 2014, puesto que en este periodo se pasa de 5 a 26 ejemplares (Mapa 6).

Sin embargo ofrece menos dudas el hecho de que el viento, tratándose de caméfitos pulvinulares, tiene un papel importante que puede resultar claramente determinante. La exposición de la sub-

población oriental a flujos del NE queda en evidencia si se observa la comparación entre la población de 2004 y su evolución y dispersión en el sentido del flujo, según el censo de 2014 (Mapa 6). Igualmente, tratándose de vientos del primer cuadrante, la influencia marítima que comportan suaviza las máximas estivales y redundando en un descenso general de la temperatura. Esta idea queda reforzada si se tiene en cuenta que el modelo obtenido a partir del ACDPI dibuja, en dicho sector, la isoterma de 6°C de temperatura media anual de las mínimas (Mapa 4). Cabe incidir en que la subpoblación estudiada se emplaza en la parte alta de una ladera regularizada por la gelivación y perfectamente enmarcada entre dos agujas o tors, localmente denominados *Frares* (Marco *et al.* 2018). La mayor ventosidad de esta vaguada puede haber resultado, igualmente, fundamental para explicar su presencia, en sustitución de otros matorrales menos adaptados al viento.

De hecho, en una primera aproximación a datos de viento obtenidos en la cumbre de Aitana, exactamente a 1558 msnm (series comprendidas entre mayo de 2001 a enero de 2003 y mayo de 2007 a marzo de 2008)⁵ se comprueba cómo el 34% de los registros corresponden a vientos del primer cuadrante, que fácilmente superan los 100 km/h. Del análisis de los datos se extrae una correlación lógica entre velocidad, humedad y sensación térmica: a partir de 60 km/h y con humedad elevada, se dispara el diferencial entre la temperatura y la sensación térmica, que, en numerosas ocasiones, sobrepasa los 20°C, con temperaturas sensibles de hasta -30°C cuando el viento se aproxima o supera los 100 km/h. Sin duda, se trata de un obstáculo de primer orden para la supervivencia de numerosas especies vegetales con mayores limitaciones fisiológicas que las plantas almohadilladas. No obstante algunos modelos (Azorín-Molina *et al.* 2014) determinan una tendencia de descenso de la velocidad del viento (*stilling*) en las últimas décadas, fenómeno que podría haber reducido la competencia de las plantas almohadilladas cacuminales frente a otras herbáceas vivaces, especies arbustivas e, incluso, arbóreas.

Con una perspectiva temporal mucho más amplia, diferentes análisis palinológicos realizados en sierras béticas como las de Cazorla, Segura y Salinas (Carrión *et al.* 2001) demuestran la intensa relación entre especies como *Genista longipes* Pau o *Erinacea anthyllis* Link y alteraciones del clima, especialmente en el ecotono entre matorral espinoso y formaciones arbóreas. Las numerosas oscilaciones altitudinales registradas en los últimos 8300 años BP parecen relacionarse con variaciones de temperatura, de intensidad del viento, la duración del verano o el régimen pluviométrico; pero, igualmente, coinciden con evidencias de un progresivo incremento de la antropización mediante el pastoreo. De esta forma, a su papel como bioindicadoras del posible cambio climático, habría que sumar el de indicadoras antropogénicas, un aspecto, tal vez, no valorado en su justa medida.

En el caso de la Serra d'Aitana, como en la mayor parte de las sierras circundantes, se ha comprobado un descenso acusado, hasta la práctica desaparición, del pastoreo y de sus prácticas asociadas, especialmente el fuego (Giménez y Marco, 2017). Este hecho ha supuesto una densificación de la vegetación, especialmente de la carrasca, que está en clara expansión. Se trata de un proceso sin parangón en muchos siglos, tal vez milenios, sobre el que se desconocen sus posibles repercusiones en la interacción planta-planta o planta-polinizador. Igualmente, el sendero que divide la subpoblación, con una relativa afluencia de excursionistas, puede haber actuado sobre el patrón y la capacidad de dispersión efectiva de los ejemplares de la pequeña población oriental. Otra cuestión a resolver sería cómo interviene la fragmentación del hábitat y la desconexión de esa subpoblación respecto a la población principal, también en términos genéticos.

5. Estación instalada por Medspai (Universitat d'Alacant), modelo Davis Vantage Pro localizada, en ambos periodos, junto al vértice geodésico de Aitana.

En definitiva, se trata de preguntas cuyas respuestas pueden ayudar a valorar la resiliencia de *Genista longipes* Pau y otros caméfitos pulvinulares similares a la hora de afrontar los complejos cambios ambientales que están ocurriendo. No existe, como norma general, una respuesta rápida y directa de las plantas al cambio del clima, sino más bien lo contrario (De Frutos et al., 2015; Lloret et al. 2012). Esto es especialmente evidente en especies longevas como las aquí analizadas, cuya capacidad de regeneración y tolerancia ante condiciones climáticas negativas todavía no se conoce bien y se requiere de estudios a largo plazo. Como se ha dicho, 2003 fue un año especialmente seco y cálido y los cinco ejemplares de 2004 pudieron ser una consecuencia de ello. Pero la sequía de 2014 fue mucho más extrema y, sin embargo, la población no se resintió de forma tan evidente, según los censos posteriores. La reciente regresión de la subpoblación analizada en la Serra d'Aitana puede tener un origen multicausal, pero las evidencias observadas hasta el momento y gracias a la cartografía corológica a escala de detalle, podrían ayudar a reconsiderar su papel como bioindicadora térmica, ya que la temperatura como único factor de distribución puede no ser suficiente para entender su dinámica.

Ya en otras ocasiones (Marco, 2006) se ha llamado la atención sobre el paralelismo entre el binomio *temples* y *termómetros vivos* de Cavanilles (1797) y el binomio *termoclimas* y *plantas bioindicadoras* de Rivas-Martínez (1987); aunque éste último utiliza, para definir pisos bioclimáticos y justificar sus límites, un índice que tiene en cuenta un único factor, la temperatura, con lo que hace prevalecer el índice en la definición de los ámbitos espaciales de cada uno de los termoclimas. Y es ahí donde estriba la principal diferencia entre este planteamiento y el utilizado por Cavanilles en su razonamiento, basado en la identificación de los *termómetros vivos*, siendo su presencia o ausencia la que definiría qué temple -qué termoclima- es el dominante en cada territorio. Siguiendo esta lógica, si en los planteamientos de Rivas-Martínez se determina que *Vella spinosa* Boiss. y *Genista longipes* Pau son plantas bioindicadoras del piso oromediterráneo, la sola presencia de estos taxones debería ser suficiente como para definir dicho piso en la culminación de Aitana, cuya delimitación vendría a coincidir con el área de distribución conjunta de estas especies. Esta circunstancia viene a subrayar la falta de sintonía entre la presencia de este par de taxones y la inexistencia del piso oromediterráneo, definido a partir de la justificación matemática del mismo mediante el It. Probablemente esto no sería así, si en esa formulación se hicieran intervenir otros factores, ya mencionados aquí, como la intensidad y velocidad del viento o el número de nevadas y duración de la cubierta nival. En suma, se pone de manifiesto la necesidad de abordar estos problemas desde una óptica en la que se integren todas aquellas variables que, hipotéticamente, intervienen en estos procesos tan complejos.

5. Conclusiones

La cartografía corológica de detalle, obtenida mediante GPS de precisión submétrica y un exhaustivo trabajo de campo, presenta unas notables oportunidades para localizar poblaciones sensibles -algunas, como en este caso, inéditas- con un seguimiento no sólo de la población en su conjunto sino de cada ejemplar.

Desde el punto de vista del conjunto de la población, esta cartografía detallada permite concluir que, si bien comienza a ser regular y continua la presencia a partir de 1450 msnm, el 95% de la superficie ocupada por la planta está por encima de 1475 msnm hasta la culminación, sin olvidar que la subpoblación analizada es una excepcionalidad, puesto que se sitúa ligeramente por debajo de los 1300 msnm.

Por lo que respecta al seguimiento de dicha subpoblación, se ha comprobado una clara diferencia entre lo que ocurre hasta 2014, con un incremento significativo de 5 a 26 ejemplares (de los cuales 7 ya habían muerto en julio de 2014) y lo acontecido en fechas posteriores; puesto que a partir de ese censo, la tendencia es a un declive sostenido de esta subpoblación, que pasa de 19 ejemplares vivos a 15 en 2018 y un notable incremento de la mortalidad acumulada hasta un total de 14 ejemplares entre 2014 y 2018.

Igualmente, los resultados permiten aproximarse con mayor exactitud al papel concreto de los factores geográficos que determinan su distribución, con posibilidades comparativas entre diferentes poblaciones. En este sentido, el tratamiento de datos térmicos del ACDPI, pese a sus carencias, permite un rápido y sencillo cálculo de variables para toda la Península Ibérica. En este caso concreto, la estrecha correlación entre la distribución de *Genista longipes* Pau y la isoterma media anual de las temperaturas mínimas, justificaría la existencia de la subpoblación disyunta estudiada que se encuentra en una localización oriental y a una llamativa menor altitud. Otra aplicación derivada de los datos obtenidos del ACDPI y del grado de detalle ha sido la realización de escenarios predictivos a través de su combinación con datos corológicos de precisión.

Aprovechando esta circunstancia, se ha realizado un experimento con un escenario que determinaría la extinción de *Genista longipes* Pau en la Serra d'Aitana, en consonancia con distintas aportaciones en las que se predice una disminución drástica del territorio ocupado por el piso supramediterráneo. Los resultados señalan qué incremento de I_t sería el necesario para la desaparición del taxón en Aitana; concretamente, 1.3 °C para T, de 1.5 °C para m y de 1.2 °C para M. Cifras que están dentro del rango de las proyecciones regionalizadas de cambio climático del AR5-IPCC.

Es obvio que la pequeña subpoblación, aislada en una vaguada oriental, desaparecería en primer lugar. Sin embargo, la especie allí presenta, como se ha visto, unas variaciones fluctuantes desde 2004, lo que podría invalidar a la temperatura como única variable a tratar y reforzaría el papel del viento como factor a analizar. Junto a este condicionante, cabría considerar también el papel del manejo de la vegetación a largo plazo, tras milenios de una antropización intensa relacionada con el pastoreo y el uso del fuego para la obtención de pastos. El abandono de estas actividades ha permitido la densificación de la vegetación arbustiva y arbórea, tal vez en confluencia con cambios recientes en el clima, en consonancia con lo que determinan diversos modelos. Junto a ello, cabría considerar otros impactos recientes, como el incremento del pisoteo en sectores inmediatos a sendas excursionistas. Un conjunto de cuestiones que sugieren que la especie analizada no sea únicamente una indicadora climática -tal vez no tan adecuada para definir el Sme con el cálculo de I_t - sino también una indicadora de la presión antropogénica derivada de la ganadería y los aprovechamientos de las formaciones xeroacánticas de montaña. La continuación del seguimiento detallado de *Genista longipes* Pau y otras especies propias de los matorrales orófilos pulvulares espinosos, con la extrapolación del método propuesto en este trabajo y la comparación de resultados en otros relieves, permitirá confirmar o descartar, a medio plazo, alguna de las interrogantes planteadas en este trabajo.

6. Bibliografía

- Amblar-Francés, M. P., Pastor-Saavedra, M. A., Casado-Calle, M. J., Ramos-Calzado, P., & Rodríguez-Camino, E. (2018). Strategy for generation of climate change projections feeding Spanish impact community. *Advances in Science and Research*, 15, 217-230. doi: 10.5194/asr-15-217-2018.

- ANTHOS. Sistema de información sobre plantas de España. <http://www.anthos.es/> (última consulta (10 de junio de 2019)).
- Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. <http://opengis.uab.es/wms/iberia/> (última consulta (15 de mayo de 2019)).
- Azorín, D. (2017). *Cartografia fitoclimàtica a gran escala i la seua aplicació en estudis corològics en el marc del canvi climàtic. Anàlisi de les zones de muntanya de la província d'Alacant* (Trabajo de Fin de Máster). Instituto Interuniversitario de Geografía, Universidad de Alicante, Alicante.
- Azorín, D. & Jover, N. (2010). "Aproximación metodológica para la caracterización del piso supramediterráneo en la provincia de Alicante". En P. Giménez, et al. (Eds.), *Biogeografía. Una ciencia para la conservación del Medio* (335-343). Murcia: Asociación de Geógrafos Españoles.
- Azorín-Molina, C., Vicente-Serrano, S. M., McVicar, T. R., Jerez, S., Sanchez-Lorenzo, A., López-Moreno, J. I., ... & Espirito-Santo, F. (2014). Homogenization and assessment of observed near-surface wind speed trends over Spain and Portugal, 1961–2011. *Journal of Climate*, 27(10), 3692-3712. doi: 10.1175/JCLI-D-13-00652.1
- Banco de Datos de la Biodiversidad. <http://bdb.cma.gva.es> (última consulta: 27 de junio de 2019).
- Brunet, M., Casado, M.J., de Castro, M., Galán, P., López, J.A., Martín, J.M., Pastor, A., Petisco, E., Ramos, P., Ribalaya, J., Rodríguez, E., Sanz, I. & Torres, L. (2009). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid. http://www.aemet.es/es/idi/clima/escenarios_CC
- Carrión, J. S., Munuera, M., Dupré, M. & Andrade, A. (2001). Abrupt vegetation changes in the Segura Mountains of southern Spain throughout the Holocene. *Journal of Ecology*, 89, 783–797. doi: 10.1046/j.0022-0477.2001.00601.x
- Castroviejo, S. et al. (eds.) (1993). *Flora Iberica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*, vol. IV Cruciferae-Monotropaceae. Madrid, España: Real Jardín Botánico, CSIC.
- Cavanilles, A. J. (1797). *Observaciones sobre la Historia Natural, Geografía, Agricultura, Población y Frutos del Reyno de Valencia*. Madrid, España: Imprenta Real, Vol. 2 [Ed. facsímil, Biblioteca Valentina, 1975].
- Chamorro, D., Luna, B., & Moreno, J. M. (2013). Germination response to various temperature regimes of four Mediterranean seeder shrubs across a range of altitudes. *Plant ecology*, 214(12), 1431-1441. doi: 10.1007/s11258-013-0264-0
- De Frutos, Á., Navarro, T., Pueyo, Y., & Alados, C. L. (2015). Inferring resilience to fragmentation-induced changes in plant communities in a semi-arid mediterranean ecosystem. *PLoS one*, 10(3): e0118837. doi: 10.1371/journal.pone.0118837
- Escudero, A., Giménez-Benavides, L., Iriondo, J. M., & Rubio, A. (2004). Patch dynamics and islands of fertility in a high mountain Mediterranean community. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 36 (4), 518-527. doi: 10.1657/1523-0430(2004)036[0518:PDAIOF]2.0.CO;2
- Escudero, A., García-Camacho, R., García-Fernández, A., Gavilán, R. G., Giménez-Benavides, L., Iriondo, J. M., ... & Pescador, D. S. (2012). Vulnerabilidad al cambio global en la alta montaña mediterránea. *Revista Ecosistemas*, 21(3), 63-72. doi: 10.7818/ECOS.2012.21-3.08
- Giménez, P., & Marco, J. A. (2017). La dinámica del paisaje en la Serra d'Aitana (Alacant, España): síntesis de transformaciones históricas en una montaña mediterránea (1600–2010). *Estudios Geográficos*, 78 (282), 105-133. doi: 10.3989/estgeogr.201704
- Giménez, P.; Marco, J.A.; Martínez, E.; Padilla, A. & Sánchez, A. (2004): "Cartografía corológica de especies vegetales cacuminales en el sector oriental de Aitana (Alacant, España)". En *Actas del III Congreso Español de Biogeografía*. Reserva de la Biosfera de Urdaibai, Euskadi: Servicio de Publicaciones del Gobierno Vasco.
- Giménez-Benavides L, Escudero A, & Pérez-García F (2005). Seed germination of high mountain Mediterranean species: altitudinal, interpopulation and interannual variability. *Ecol Res* 20, 433–444. doi: 10.1007/s11284-005-0059-4
- Giménez-Benavides L., Escudero A., & Iriondo J. M. (2007). Local adaptation enhances seedling recruitment along an altitudinal gradient in a high mountain Mediterranean plant. *Ann. Bot.*, 99 723–734. doi: 10.1093/aob/mcm007
- Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatsi, M., Barančok, P., Alonso, J. L. B., & Krajčič, J. (2012). Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change*, 2(2), 111-115. doi: 10.1038/nclimate1329
- Grabherr, G.; Gottfried, M. & Harald, P. (1994). Climate effects on mountain plants. *Nature*, 369, 448. doi: 10.1038/369448a0

- Kawecki, T. J., & Ebert, D. (2004). Conceptual issues in local adaptation. *Ecology letters*, 7(12), 1225-1241. doi: 10.1111/j.1461-0248.2004.00684.x
- Körner, C. (2007). The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in ecology & evolution*, 22(11), 569-574. doi: 10.1016/j.tree.2007.09.006
- López, M. L., Piñas, S., López, M. S. (2008): "Similitudes y diferencias entre nuestra 'Cartografía bioclimática de la España peninsular y balear', y los trabajos anteriores", *Serie Botánica*, 17, 249-260.
- López, M. L., Peña-Angulo, D., Marco, R., López, M. S. & González-Hidalgo, J. C. (2017). Variaciones espaciales y temporales de las condiciones bioclimáticas en la España peninsular (1951-2010). *Estudios Geográficos*, 283, 553-577. doi: 10.3989/estgeogr.201719
- Lloret, F., Escudero, A., Iriondo, J. M., Martínez-Vilalta, J., & Valladares, F. (2012). Extreme climatic events and vegetation: the role of stabilizing processes. *Global Change Biology*, 18(3), 797-805. doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02624.x
- Marco, J.A. (2001). *Aitana como espacio singular. Perspectiva geográfica de una montaña mediterránea*. Alicante, España: Servicio de publicaciones de la Universidad de Alicante.
- Marco, J.A. (2006). Rasgos climáticos, relieve y vegetación en tierras valencianas a través de la mirada de Cavani- lles. *Estudios Geográficos*, 67(260), 105-140. doi: 10.3989/egeogr.2006.i260.45
- Marco, J.A., Padilla, A. & Sánchez, A. (2006a). Cartografía corológica mediante el uso de GPS de especies vegeta- les endémicas, raras o amenazadas en el sector oriental de Aitana (Alacant). *Serie Geográfica*, 13, 11-24.
- Marco, J.A., Ramón, A., Padilla, A., Sánchez, A., Giménez, P. & Martínez, E. (2006b). Cartografía corológica a escala de detalle mediante GPS y SIG: nuevas aplicaciones en el sector oriental de Aitana. En P. Giménez, et al. (Eds.), *Geografía Física y Medioambiente* (pp. 183-194). Alicante, España: Asociación de Geógrafos Españoles.
- Marco, J. A., Azorín, D., Giménez, P., Miró, J. J., Padilla, A., & Sánchez, A. (2016). Comparación de los censos de *Genista longipes* Pau (2004-2014) en la Serra d'Aitana, Alacant, en el contexto del calentamiento global. En J. Gó- mez, et al. (Eds.): *Avances en biogeografía. Áreas de distribución: entre puentes y barreras* (pp. 231-239). Granada, España: Universidad de Granada.
- Marco, J. A. Giménez, P. & Padilla, M. A. (2018). Procesos de clima frío en el extremo NE peninsular de la Cordi- llera Bética. Revisión y síntesis de investigaciones previas. *Cuaternario y Geomorfología*, 32(3-4), 39-56.
- Martínez-Ibarra, E. (2006). Distribución estacional y horaria de la humedad relativa y la niebla en una montaña mediterránea: resultados preliminares en Aitana (Alicante). En *Clima, Sociedad y Medio Ambiente* (pp. 665-674). Zaragoza, España: Publicaciones de la Sociedad Española de Climatología.
- Melendo, M. Giménez, E., Cano, E., Gómez-Mercado, F. & Valle, F. (2003). The endemic flora in the south of the Iberian Peninsula: taxonomic composition, biological spectrum, pollination, reproductive mode and dispersal. *Flora*, 198, 260-276. doi: 10.1078/0367-2530-00099
- Mirete, P. (2017). *Nevadas en la Montaña alicantina* (Trabajo de Fin de Grado). Universidad de Alicante, Alicante.
- Miró, J.J. (2014). *Downscaling estadístico de series climáticas mediante redes neuronales: Reconstrucción en alta resolución de la temperatura diaria para la Comunidad Valenciana. Interpolación espacial y análisis de tendencias (1948-2011)*. Ph. D. Thesis. España: Universidad de Alicante, Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo y Universitat de València. doi: 10.13140/RG.2.1.2059.1523
- Miró, J.J., Estrela, M.J. & Olcina J. (2015). Statistical downscaling and attribution of air temperature change pat- terns in the Valencia region (1948-2011). *Atmospheric Research*, 156, 189-212. doi: 10.1016/j.atmosres.2015.01.003
- Miró, J. J., Estrela, M. J., Caselles, V., & Olcina-Cantos, J. (2016). Fine-scale estimations of bioclimatic change in the Valencia region, Spain. *Atmospheric research*, 180, 150-164. doi: 10.1016/j.atmosres.2016.05.020
- Moltó, E. (2019). Tiempos singulares: nevadas. En: Olcina, J. y Moltó, E. (eds.): *Climas y tiempos del País Valenciano* (pp. 102-110). Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Moritz, C. & Agudo, R. (2013). The future of species under climate change: resilience or decline?. *Science*, 341(6145), 504-508. doi: 10.1126/science.1237190
- Muñoz, J., & García, A. (2013). Variación climática y cambios recientes de la vegetación supraforestal en el área de El Nevero-puerto de Navafria (sierra de Guadarrama, España). *Ería*, (92): 243-260.
- Ninyerola Casals, M. (2000). *Modelització climàtica mitjançant tècniques SIG i la seva aplicació a l'anàlisi quan- titativa de la distribució d'espècies vegetals a l'Espanya peninsular*. Barcelona, España: Universitat Autònoma de Barcelona.

- Ninyerola, M., Pons, X., & Roure, J. M. (2005). *Atlas climático digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*. Barcelona, España: Universitat Autònoma de Barcelona.
- Pauli, H.; Gottfried, M.; Lamprecht, A.; Niessner, S.; Rumpf, S.; Winkler, M.; Steinbauer, K. & Grabherr, G., coordinadores y editores (2015). *Manual para el trabajo de campo del proyecto GLORIA. Aproximación al estudio de las cimas. Métodos básico, complementarios y adicionales*. 5ª edición. GLORIA-Coordinación, Academia Austriaca de Ciencias y Universidad de Recursos Naturales y Ciencias de la Vida, Viena, Austria. Edición en español a cargo de Benito, J.L. & Villar, L., Jaca, España.
- Pérez-Luque, A.J., Sánchez-Rojas, C.P., Zamora, R., Pérez-Pérez, R., Bonet, F.J. (2015). Dataset of Phenology of Mediterranean high-mountain meadows flora (Sierra Nevada, Spain). *PhytoKeys*, 46, 89-107. doi: 10.3897/phytokeys.46.9116
- Pescador, D.S., de Bello, F., Valladares, F., & Escudero, A. (2015). Plant Trait Variation along an Altitudinal Gradient in Mediterranean High Mountain Grasslands: Controlling the Species Turnover Effect. *PLoS ONE* 10(3): e0118876. doi:10.1371/journal.pone.0118876.
- Piñas, S., López, M. S. & López, M. L. (2008). Termotipos de la España peninsular y balear y su cartografía. *Serie Botánica*, 17: 237-242
- Rivas-Martínez, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, ICONA.
- Rivas-Martínez, S., Rivas-Sáez, S. & Penas, A. (2011). Worldwide bioclimatic classification system. *Global Geobotany* 634 pp + 4 Maps.
- Valladares, F., Bastias, C. C., Godoy, O., Granda, E., & Escudero, A. (2015). Species coexistence in a changing world. *Frontiers in plant science*, 6. doi: 10.3389/fpls.2015.00866
- Walas, Ł., Sobierajska, K., Ok, T., Dönmez, A. A., Kanoğlu, S. S., Dagher-Kharrat, M. B., ... & Boratyński, A. (2019). Past, present, and future geographic range of an oro-Mediterranean Tertiary relict: The juniperus drupacea case study. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1507-1520. doi: 10.1007/s10113-019-01489-5
- Wilson, R. J., Gutierrez, D., Gutierrez, J., & Monserrat, V. J. (2007). An elevational shift in butterfly species richness and composition accompanying recent climate change. *Global Change Biology*, 13(9), 1873-1887. doi: 10.1111/j.1365-2486.2007.01418.x

Sobre los autores

Juan Antonio Marco Molina

Catedrático de geografía física de la Universitat d'Alacant. Con trabajos sobre el medio físico y la humanización de las montañas béticas valencianas, destacan sus aportaciones sobre Geomorfología, Biogeografía, Cartografía y Paisaje en la Serra d'Aitana, de la que ha publicado diversos libros y artículos de investigación. En las últimas dos décadas ha dirigido, en el seno del grupo de investigación MedSPai, proyectos y trabajos de investigación sobre cartografía corológica de especies raras, endémicas y amenazadas.

Pablo Giménez Font

Geógrafo y Profesor Titular de la Universitat d'Alacant. Sus principales líneas de investigación se insertan en el campo de la Geografía histórica y la Biogeografía, analizando la dinámica del paisaje mediterráneo y las consecuencias del impacto humano sobre el medio en los últimos cuatro siglos. En esta línea ha realizado diversas investigaciones sobre la Serra d'Aitana.

David Azorín Amorós

Geógrafo y Máster en Planificación y Gestión de Riesgos Naturales por la Universitat d'Alacant, ha centrado sus investigaciones en la distribución de *Erinacea anthyllis* en la Serra de l'Algaiat y en la determinación del piso supramediterráneo en la provincia de Alicante.

Ascensión Padilla Blanco

Geógrafa, Profesora Titular de la Universitat d'Alacant y directora del grupo de investigación MedSPai, asociado al CIBIO-Centro Iberoamericano de la Biodiversidad y al Instituto Interuniversitario de Geografía. Sus líneas de investigación se insertan dentro de la Biogeografía: flora rara, endémica y/o amenazada, cartografía corológica, dinámica vegetal en campos de cultivo abandonados, gestión y conservación en espacios naturales.

Ángel Sánchez Pardo

Geógrafo, Profesor Asociado y Técnico del Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física de la Universitat d'Alacant. Sus líneas principales de trabajo se centran en Cartografía, Sistemas de Información Geográfica, GPS y Gestión Ambiental.