

## VULNERABILIDAD DE LOS PAISAJES DEL ESPACIO PROTEGIDO SIERRA DE LAS NIEVES (PROVINCIA DE MÁLAGA) EN UN ESCENARIO TERRITORIAL DE CAMBIO CLIMÁTICO

MARIO MENJÍBAR ROMERO ([id](#))<sup>1</sup>  
RICARDO REMOND ([id](#))<sup>2</sup>  
JUAN FRANCISCO MARTÍNEZ-MURILLO ([id](#))<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Geomorfología y Suelos, Instituto de Hábitat, Territorio y Digitalización, Universidad Málaga, Edificio de Investigación Ada Byron, 29010, Málaga,

<sup>2</sup>Departamento de Geografía, Universidad de La Habana, Cuba

<sup>3</sup>Departamento de Geografía, Universidad de Málaga, Campus de Teatinos, 29071 Málaga

Autor de correspondencia: [mariomenjibar@uma.es](mailto:mariomenjibar@uma.es)

**Resumen.** Este trabajo realiza un análisis de la dinámica de las unidades de paisaje del Espacio Natural Protegido de Sierra de las Nieves (Provincia de Málaga), a largo y medio-corto plazo, considerando los cambios en los usos, coberturas vegetales y superficie del suelo, a fin de realizar una primera aproximación a la vulnerabilidad frente al cambio climático durante el siglo XXI. Para ello, se emplean técnicas de análisis espacial, tanto en sistemas de información geográfica, como análisis de imágenes de satélite. Los resultados indican: i) a largo plazo, ha tenido lugar una naturalización del territorio, con abandono casi total de la superficie cultivada e incremento de la cubierta forestal, en consonancia con otras áreas de montaña mediterránea; ii) a medio-corto plazo, la cubierta vegetal y condiciones del suelo muestran una variabilidad estacional e inter-anual. Estos resultados ponen de relieve que el área de estudio incluye sistemas naturales en sus paisajes, como los pinsapares o los pastos y matorral de alta montaña, muy vulnerables a los escenarios de cambio climático, con hasta más de 1°C de incrementos en la temperatura y en la aridez durante el siglo XXI.

**Palabras clave:** paisaje, vulnerabilidad, cambio climático, escenarios climáticos, gestión de espacios naturales protegidos, Sierra de las Nieves.

### VULNERABILITY OF THE LANDSCAPES OF THE PROTECTED AREA SIERRA DE LAS NIEVES (PROVINCE OF MÁLAGA) IN A TERRITORIAL SCENARIO OF CLIMATE CHANGE

**Abstract.** This study deals with the spatial and temporal analysis of landscape units in the Sierra de las Nieves Natural Protected Area (Province of Málaga), considering changes in land uses, vegetation, and soil surface. The goal is to assess in a first approach the vulnerability to the Climate Change. To do this, it is applied spatial analysis tools of GIS and remote sensing. The results indicated: i) in the long term, the study area is characterized with almost the total abandonment of cultivation as well as the increment in forest cover; and ii) in the mid-short term, vegetation cover and soil conditions show seasonal and inter-annual variability. These results highlight some remarkable natural systems included in the landscapes (e.g., fir forests, high mountain pastures and shrubland) face the climate change scenarios in very vulnerable conditions, especially, when at least 1°C of increment in temperature and aridity is expected by the end of XXI century.

**Keywords:** landscape, vulnerability, climate change, climatic scenarios, natural protected land management, Sierra de las Nieves.

## 1. INTRODUCCIÓN

En 2013, el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) confirmaba el incremento generalizado de la temperatura del planeta con un promedio global de 0,85° C en los últimos 100 años (IPCC, 2013), pero con incrementos locales aún más acentuados, junto con un aumento de la frecuencia de sequías y cambios en la dinámica de eventos extremos (Fischer y Knutti, 2015). En este contexto, la región mediterránea es una de las áreas del planeta más reconocida como punto caliente en cuanto a los efectos del cambio climático (Voltz *et al.*, 2018). De hecho, en la península Ibérica, González-Hidalgo *et al.* (2015) y Tejedor *et al.* (2016) corroboraron el aumento continuado de temperaturas mínimas y máximas a partir de datos procedentes de estaciones meteorológicas y anillos de crecimiento de árboles, respectivamente. Mientras, en cuanto a las precipitaciones, si bien no hay tanta claridad y/o uniformidad en los cambios temporales y espaciales como en las temperaturas, sí son evidentes cambios en la distribución estacional, con algunos descensos en volumen y aumento generalizado de la aridez y la torrencialidad en el sur peninsular (González-Hidalgo *et al.*, 2011; Ruiz-Sinoga *et al.*, 2011; Sillero-Medina *et al.*, 2021). Casi todos los modelos predictivos auguran un aumento de la tendencia, con un claro incremento de las temperaturas y cambios en la distribución de las precipitaciones (Mauritsen y Pincus, 2017).

En este contexto, las áreas de alta montaña se consideran perfectos laboratorios para el estudio de los efectos del cambio climático (Palomo, 2017). Hay una evidencia creciente acerca de que el calentamiento global se amplifica con altitud. Los ambientes de alta montaña están experimentando cambios más rápidos en temperatura que las regiones de menor altitud (Alexander *et al.*, 2018). Por ejemplo, el llamado Calentamiento Dependiente de la Altitud (Elevation-Dependent Warming) puede acelerar la tasa de cambio en los ecosistemas de montaña, la criosfera, los regímenes hidrológicos y la biodiversidad, originando cambios drásticos en el tipo y cubierta vegetal (Grabherr *et al.*, 1994; Mountain Research Initiative EDW Working Group, 2015).

Si a lo anterior, se une la fragilidad de los sistemas naturales propios de las áreas de montaña mediterránea fruto de una larga coexistencia en el tiempo de procesos naturales extremos y usos humanos del territorio a veces no muy sostenibles (Vanwalleghem *et al.*, 2017), se convierte en un territorio a veces no muy resiliente ante el impacto de determinados cambios geocológicos, naturales o inducidos; se está ante un escenario en el que los paisajes de este ámbito geográfico son extremadamente vulnerables al cambio climático, más aún en espacios con presencia de sistemas naturales de gran valor ecológico, pero frágiles en cuanto a las condiciones climáticas que los posibilitan, como el de los pinsapares en el sur peninsular (Gutiérrez-Hernández, 2018; Olmedo-Cobo *et al.*, 2021; MITECO, 2023).

En este sentido, el propósito de este trabajo es una evaluación preliminar de la vulnerabilidad de los paisajes del Espacio Natural Protegido Sierra de las Nieves ante el cambio climático; así, para esta zona de estudio, los objetivos específicos son: i) delimitar y caracterizar las unidades de paisaje; ii) determinar los cambios de uso del suelo a largo plazo, desde comienzos del siglo XX; iii) determinar la dinámica espacio-temporal a corto plazo, de la cubierta vegetal y la superficie del suelo en dichas unidades; y iv) evaluar la vulnerabilidad del paisaje frente al impacto del cambio climático según los escenarios propuestos por el IPCC (2021).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Área de estudio: el Espacio Protegido Sierra de las Nieves

El Espacio Natural Protegido de Sierra de las Nieves (ENPSNieves, en adelante) abarca el territorio declarado en 2021 como Parque Nacional, más el que hasta esa fecha estaba bajo la figura de protección de Parque Natural desde 1989 (Figura 1). Este espacio incluye hasta un total de ocho municipios de la Serranía de Ronda, en la provincia de Málaga: Benahavís, El Burgo, Istán, Monda, Parauta, Ronda, Tolox y Yunquera. A ellos, se les unen otros seis incluidos en el área de influencia de la zona periférica de protección: Alozaina, Casarabonela, Guaro, Igualeja, Ojén y Serrato. En total, el ENP Sierra de las Nieves tiene una superficie de 29.576,76 ha, repartidas entre 22.979,76 ha de parque nacional y 6.597,00 ha de parque natural (Consejería de Medio Ambiente, Sostenibilidad y Economía Azul, 2022).

Figura 1. Localización y límites del Espacio Natural Protegido Sierra de las Nieves y detalles fotográficos de algunos de sus principales sistemas naturales: pinsapar (arriba), pinar en peridotitas (centro) y pastizal-quejigal de alta montaña (abajo)



Fuente: Elaboración propia.

El ámbito geográfico del ENPSNieves abarca un territorio integrado en la Serranía de Ronda, cuyo relieve queda estructurado en una serie de accidentes orográficos, de entre 1.000 y 2.000 m.s.n.m (con el pico Torrecilla como altitud máxima: 1.919 m.s.n.m.). El relieve se resuelve en tres grandes conjuntos litológicos: uno, ultramáfico peridotítico, otro esquistoso, y otro calcáreo, de mayor extensión y altitud. Según Olmedo Cobo y Gómez Zotano (2017), el ENPSNieves presenta un clima mediterráneo, pero con diferentes regímenes y matices debido a la influencia de la altitud y la orientación hacia las masas de aire atlánticas, existiendo un fuerte gradiente altitudinal que hace decrecer la temperatura e incrementar las precipitaciones, las cuales también se ven aumentadas de este a oeste.

Esta diversidad orográfica, geológica y climática es el origen de una amplia variedad de sistemas naturales. Tal como recoge la Declaración del Parque Nacional Sierra de las Nieves (MITECO, 2023), entre esos se destacan: “abetales y pinsapares”, con presencia masiva y sobresaliente de *Abies pinsapo* Boiss.; “pinares de pino negral peridotíticos del sector occidental malacitano” en las estribaciones de Sierra Bermeja; “sabinares negrales interiores”; “alcornocales húmedos gaditanos” en los relieves metamórficos esquistosos de lluvias abundantes; y los “matorrales almohadillados espinosos y tomillares de pradera” en el macizo amesetado elevado del sector central, confiriéndole un paisaje más propio de alta montaña, acompañados de *Quercus faginea sub. alpestris*. Como buen ejemplo de montaña mediterránea, estos sistemas naturales han sido modelados por la actividad humana desde épocas prehistóricas hasta la actualidad mediante diferentes usos, todos con impactos directos en el paisaje y su geocología: tala masiva para la obtención de carbón vegetal y construcción naval, pastoreo y fuego, han introducido cambios en la composición, fisonomía y estructura de la cubierta vegetal y alterado los procesos geomorfológicos y edafogenéticos.

## 2.2. Fuentes de información y datos

La tabla 1 recoge las fuentes de información y tipos de datos empleados para la elaboración de este trabajo. En primer lugar, se realizó una búsqueda de información de variables geográficas para la delimitación e inventario de las unidades de paisaje del ENP Sierra de las Nieves, para lo cual se consultaron servidores web y geovisores de organismos públicos. Asimismo, en bases de referencias bibliográficas, como Dialnet y SCOPUS, se efectuaron búsquedas y descargas de publicaciones científicas. Por último, se llevó a cabo campañas de trabajo de campo previas, durante y posteriores al proceso cartográfico de delimitación de las unidades de paisaje, a fin de reconocer de cerca el área de estudio y verificar y revisar los resultados obtenidos.

Tabla 1. Fuentes de información y tipos de datos

Fuente/Organismo	Tipo de información	Datos
Centro Nacional de Descargas del IGN.	Cartográfica (capa ráster).	Modelo Digital del Terreno (resolución de 5x5 m).
Centro Nacional de Descargas del IGN.	Cartográfica (capa ráster).	MTN50 histórico: hojas de Ronda y Marbella.
Instituto Geológico y Minero de España.	Cartográfica (capa vectorial).	MAGNA50: hojas de Ronda y Marbella.
IGN-PNOA	Orto-fotografía aérea.	Vuelo americano 1956-57, vuelo Interministerial (1977-84), PNOA máxima actualidad.
COPERNICUS-EU Space	Imagen de satélite (formato ráster)	Sentinel-2
Red Ambiental de Andalucía	Cartográfica (capa vectorial)	Usos del suelo y coberturas vegetales: MUCVA y SIPNA.
Bases de referencias bibliográficas.	Publicaciones científicas.	Bibliográficos, estadísticos y administrativos.
Trabajo de campo.	Cartográfica e inventario.	Verificación de cartografía y recogida de información.

Fuente: Elaboración propia.

## 2.3. Procesamiento de datos y análisis cartográfico

En primer lugar, se delimitaron las unidades de paisaje mediante un método clásico cartográfico, la superposición de capas vectoriales de las variables consideradas estructurantes del paisaje: topografía, geología y clima. La superposición conlleva la generación de un nuevo producto cartográfico, el cual es a su vez depurado en base a dos criterios: i) la mínima superficie cartografiable para la escala de trabajo seleccionada ( $E=1:100.000$ ); y ii) el criterio experto para la reorganización espacial de las nuevas topologías generadas en base a la dominancia espacial. Una vez obtenidas las unidades de paisaje en ambos niveles de aproximación se realizan cálculos de su extensión y perímetro, así como la descripción geoecológica de las mismas. Este proceso se realiza en un entorno de sistema de información geográfica (ArcGIS 10.8.2, licencia de la Universidad de Málaga).

En segundo lugar, los cambios espacio-temporales de los usos del suelo y las coberturas vegetales fueron objeto de análisis espacial. Para esto, se usó cartografía temática ya publicada (Tabla 1) revisada mediante la foto-interpretación de ortofotos y trabajo de campo, para los años 1956, 1984 y 2022; además, solo a modo de aproximación a una fase previa, se llevó a cabo una interpretación de los usos y coberturas anterior a 1956, utilizando la primera edición de 1917, de los MTN50 del IGN para las Hojas de Ronda y Marbella. Esto permitió caracterizar las unidades de paisaje según los usos del suelo y las coberturas vegetales, así como sus cambios. En este trabajo, los usos del suelo y las coberturas vegetales se clasificaron en un nivel de detalle simplificado siguiendo la propuesta de Arias García (2019).

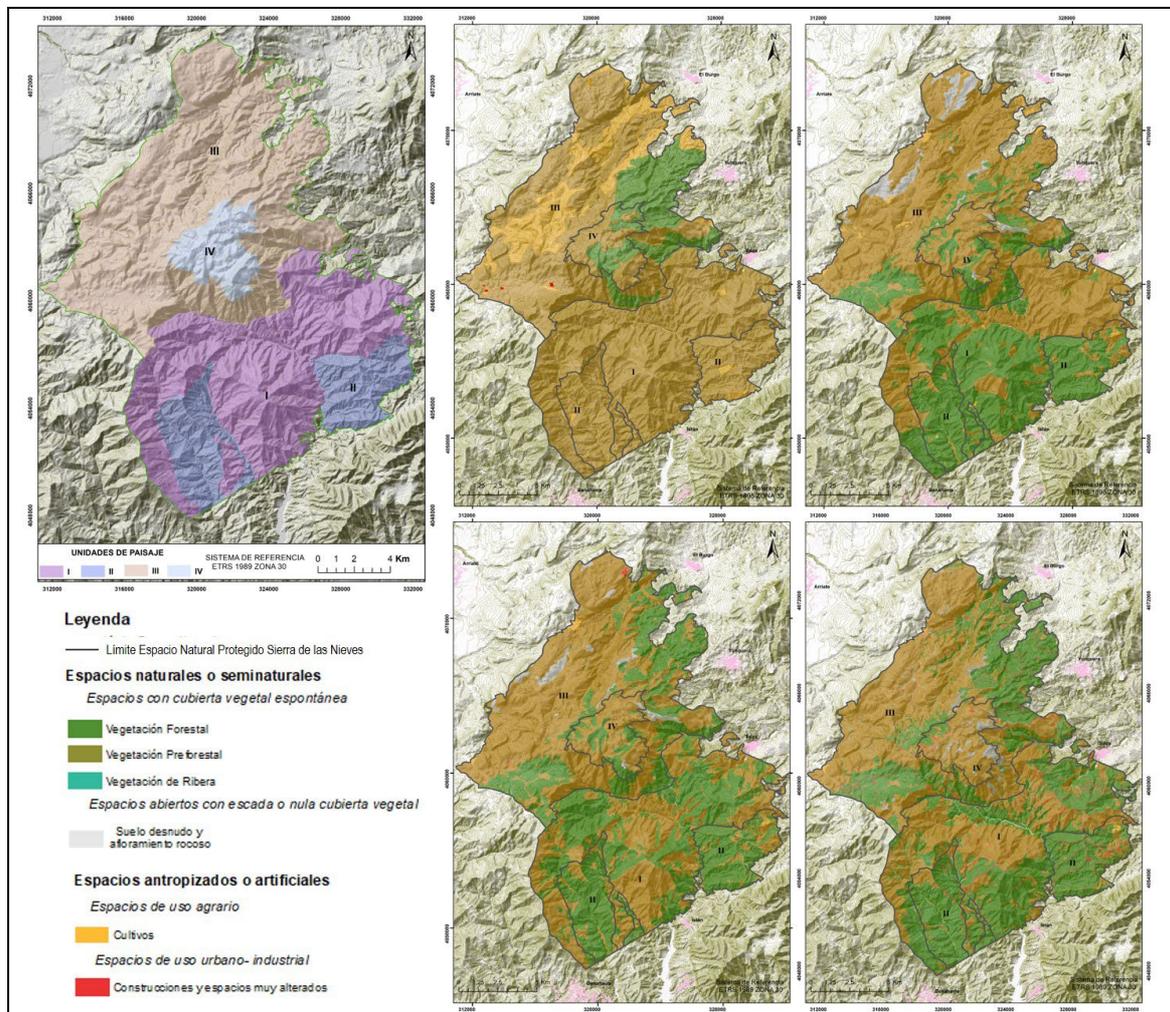
Por último, se llevó a cabo un análisis de la variación espacial, a corto y medio plazo, en las características el estado de la cubierta vegetal y las condiciones superficiales del suelo según su cobertura, mediante el tratamiento y análisis de imágenes de satélite Sentinel-2, aplicando el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el SAVI. Este procedimiento se aplicó en dos épocas del año, desde 2018

a 2022: a mediados de primavera y a finales de verano, con la cubierta vegetal en condiciones máximas y mínimas, respectivamente.

## 2.4. Escenarios climáticos

La aproximación realizada a los escenarios climáticos que se plantean para el entorno regional en el que se circunscribe el ENPSNieves, se basa en la información publicada por diferentes organismos internacionales y nacionales, como la Organización Mundial de Meteorología, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, y la Agencia Estatal de Meteorología, así como en publicaciones científicas de grupos de investigación de relevancia, tomadas de bases bibliográficas en línea. A partir de estas fuentes, como primera fase del análisis de la vulnerabilidad de los sistemas naturales existentes en los paisajes del espacio natural, se han tomado datos acerca de los cambios en las variables meteorológicas y su espacialización, en los diferentes escenarios de cambio climático propuestos para el siglo XXI.

Figura 2. Unidades de paisaje (arriba, izquierda) y usos del suelo (nivel simplificado) en 1917 (arriba, centro), 1956 (arriba, derecha), 1984 (abajo, centro) y 2022 (abajo, derecha), en el Espacio Natural Protegido Sierra de las Nieves.



Fuente: Elaboración propia.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Las unidades de paisaje

Se delimitaron cuatro unidades paisaje en el ENPSNieves a E = 1:100.000 (Figura 2). Estas unidades ocupan una superficie relativa igual a: unidad I, 34,4 %; unidad II, 13,2 %; unidad III, 46,4 %, y unidad IV, 6,0 %. El sustrato geológico y la altitud son las variables más notables que influyen en la diferenciación espacial de tales unidades, seguidas de los matices climáticos y la exposición, que provocan a su vez cambios en la composición y desarrollo de la cobertura vegetal. Las características geoecológicas generales de estas unidades de paisaje son las siguientes:

- Unidad I: Paisajes de media montaña, de altitudes comprendidas entre 300 y 1.500 m.s.n.m., con laderas de elevada longitud y pendientes moderadas a fuertes, sustrato geológico peridotítico, abarrancamientos profundos, clima mediterráneo oceánico, y vegetación y uso de dominancia compartida entre forestal y preforestal, sobre todo, por la incidencia de incendios forestales, destacando la presencia de bosques de *Pinus Pinaster*.
- Unidad II: Paisajes de media montaña, de altitudes comprendidas entre 300 y 1.200 m.s.n.m., laderas de longitud media y pendientes moderadas, sustrato geológico esquistoso, abarrancamientos, clima mediterráneo oceánico, y vegetación y uso dominante forestal, con *Pinus halepensis* y *Quercus suber* y *Quercus faginea*.
- Unidad III: Paisajes de media montaña, de altitudes comprendidas entre 600 y 1.500 m.s.n.m., de topografía muy variable, alternando laderas de fuertes pendientes y escarpes, con altiplanicies, sustrato geológico calizo, influencia notable de morfologías estructurales, clima mediterráneo semi-continental, y vegetación y usos de dominancia compartida entre forestal y preforestal, destacando la presencia de bosques de *Abies pinsapo* Boiss., a veces puros y otras mezclados con *Pinus sp.* y *Quercus ilex* y *Quercus faginea*.
- Unidad IV: Paisajes de montaña alta, de altitud superior a 1.500 m.s.n.m., de topografía muy variable, alternando laderas de moderadas a fuertes pendientes, con escarpes y rellanos, de sustrato geológico dominante calcáreo, influido por la estructura geológica de los materiales, además de procesos de disolución kárstica y periglaciares, de clima mediterráneo semi-continental, y vegetación y uso preforestal dominante, con presencia de pastizales e individuos dispersos de *Quercus faginea sub. alpestris* e individuos aislados de *Abies pinsapo* Boiss.

Tabla 2. Superficie relativa ocupada por los usos del suelo y coberturas vegetales, a nivel agrupado, en el Espacio Natural Protegido de Sierra de las Nieves

Año	Superficie (%)				
	Espacio con cubierta vegetal espontánea			Espacios agrarios	Espacios urbano-industriales
	Vegetación forestal	Vegetación preforestal (matorrales y pastizales)	Afloramientos rocosos		
1917	11,5	78,0	N/D	10,1	0,5
1956	16,1	80,3	2,7	0,9	N/D
1984	24,5	73,5	1,4	0,5	0,1
2022	22,3	73,7	1,7	0,3	2,0

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2. Dinámica a largo plazo de los usos del suelo y las coberturas vegetales

En la Figura 2 aparecen también representados, a nivel agrupado, los usos del suelo y coberturas vegetales en el ENPSNieves para los años 1917, 1956, 1984 y 2022. Los espacios de uso urbano – industrial no se observan de manera clara en los mapas debido a la necesidad de disminución del espacio para esta comunicación. Si bien se ha realizado como una aproximación a lo existente en este aspecto, en 1917, según se recoge en la tabla 2, el área de estudio parecía estar dominada por la vegetación considerada preforestal, igual que en los años posteriores, si bien la vegetación puramente forestal se incrementa progresivamente hasta 2022, a pesar de la frecuencia de incendios que han afectado a parte del territorio, en especial, en su sector centro-sur (Martínez-Murillo et al., 2016). Salvo en 1917, que

ocupaban mayor extensión en el sector norte, los usos agrícolas y construcciones antrópicas suponen una ínfima parte del territorio actualmente protegido; la etapa principal del abandono de esos cultivos ocurre entre 1917 y 1956.

### 3.3. Dinámica a corto-medio plazo de la cubierta vegetal y la superficie del suelo

La cubierta vegetal del ENPSNieves ha sido analizada en sus cambios espacio-temporales a medio y corto plazo mediante el cálculo del NDVI, como se muestra en la Figura 3. Estos cambios se han registrado a partir de la determinación de dicho análisis en las épocas de máximo y mínimo de óptimo vegetal, en las condiciones climáticas del área de estudio: mediados de primavera y final de verano. Como puede observarse, según el NDVI, el óptimo vegetal varía estacionalmente en el corto plazo, siguiendo el ritmo intra-anual de las precipitaciones, pero también en el medio plazo, con la variabilidad inter-anual de las mismas: tanto en la primavera como en el verano de 2022, se alcanza el mínimo de NDVI debido a la escasez de precipitaciones durante dicho año y los valores tan elevados de temperatura en ambas estaciones (AEMET, 2022). El índice SAVI muestra una evolución temporal similar al NDVI, aunque espacialmente ofrece cambios visuales más significativos en áreas donde no hay cubierta arbórea, especialmente, en zonas de pastizal y matorral.

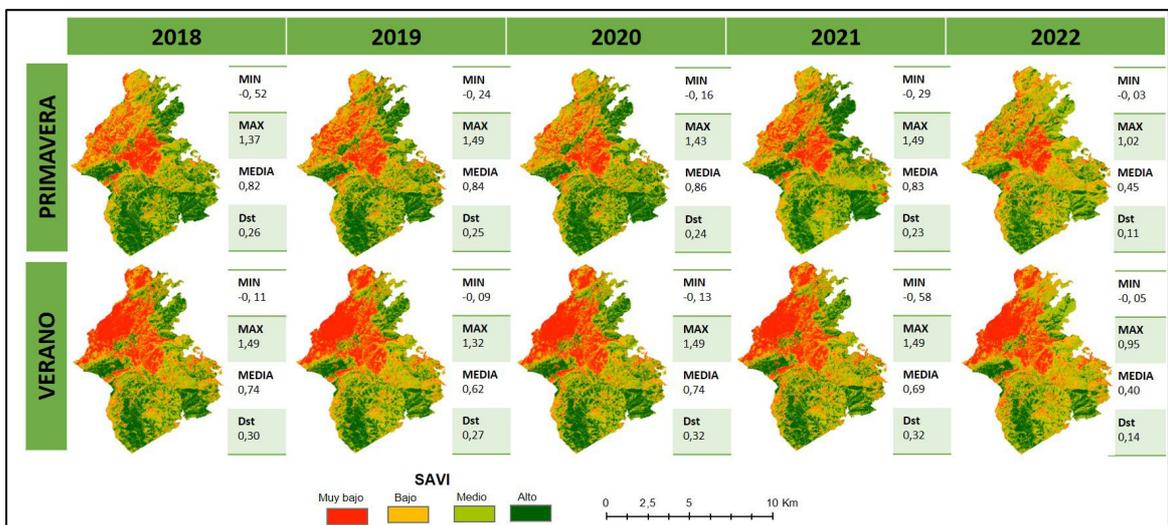
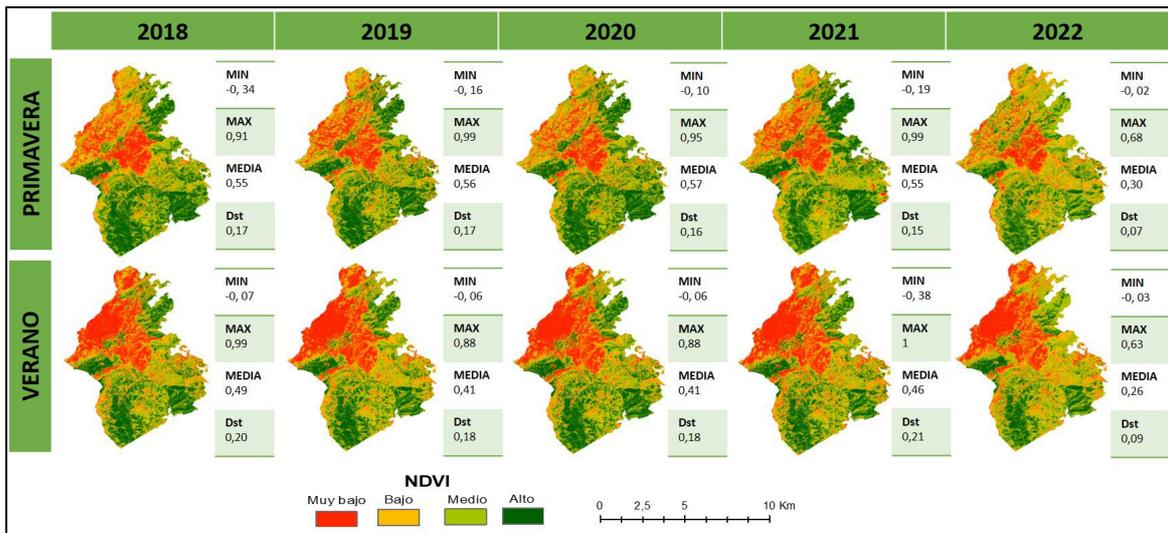
### 3.4. Escenarios climáticos regionalizados para el Espacio Protegido Sierra de las Nieves

Según Masson-Delmotte y Zhai (2021), el cambio hacia un aumento de la temperatura durante el siglo XXI, en la región mediterránea, tiene un alto nivel de confianza, con una directa contribución de la actividad humana en dicho aumento. Aun en el escenario más benigno de cambio climático, el índice de alerta de calor se espera que se incremente hasta 2 semanas/año para esta región. A nivel promedio de la temperatura máxima y mínima anuales, según González Graña *et al.* (2022), para la zona de estudio, ya se ha estimado un incremento de 0,9-1,0°C y 0,7-0,8°C, respectivamente, entre los periodos de referencia 1961-1990 y 1991-2020; este incremento es aún más acusado si se atiende solo a los meses de primavera y verano meteorológicos, con hasta cambios de 1,0-1,2°C y 0,8 -1,0°C, respectivamente.

Aunque no hay un consenso aún sobre las tendencias en las precipitaciones a nivel anual, aunque ya se observan tendencias en el incremento en su erosividad y episodios torrenciales para el entorno cercano al área de estudio (Sillero-Medina *et al.*, 2021), el incremento en la temperatura implica un aumento de la evapotranspiración y, por tanto, una reducción en el agua útil para el desarrollo y mantenimiento de la cubierta vegetal. Ello, por lo tanto, tendrá un efecto directo en la composición y distribución espacial de buena parte de las especies vegetales del ENPSNieves, especialmente, en especies con unos nichos ecológicos frágiles como el *Abies pinsapo* Boiss. y el *Quercus faginea alpestris*, habituados a condiciones más frescas y húmedas que las esperables en los diferentes escenarios climáticos regionalizados propuestos por Amblar Frances *et al.* (2017). De hecho, como destacó Gutiérrez-Hernández (2018), ante los distintos escenarios de cambio climático previstos en el 5º Informe del IPCC, el pinsapo será una especie muy vulnerable ante el calentamiento global, puesto que su distribución potencial podría verse muy alterada, en tanto que las áreas más favorables retrocederían a los lugares más elevados y sombríos, pudiendo incluso desaparecer en un escenario de altas emisiones a finales del siglo XXI. Es decir, uno de los principales sistemas naturales por los que Sierra de las Nieves fue declarada como parque nacional, tiene seriamente comprometido su futuro si se van cumpliendo las predicciones de cambio climático.

Además, uno de los impactos más importantes del cambio climático en las áreas de montañas es la reducción de la cubierta de nieve, hecho que también se constata en la zona de estudio, sumado a cambios en la pedogénesis y las propiedades térmicas, hidrológicas, físicas y químicas de los suelos (Freppaz *et al.*, 2018). Por ejemplo, al aumentar las temperaturas y la falta de nieve, hay cambios en los ciclos de hielo-deshielo del suelo y en el comportamiento mecánico de este, incrementándose la producción de sedimentos y la erosión del suelo en zonas de mayor altitud (Xie *et al.*, 2015), mientras que, en otras de menor, el aumento de la aridez implicaría una reducción de la cubierta vegetal, lo cual llevaría también a la misma situación. En definitiva, los paisajes de las montañas mediterráneas y, en nuestro caso, del ENPSNieves, están ante cambios potenciales en sus características y dinámicas geoecológicas.

Figura 3. Variación espacial del NDVI (arriba) y SAVI (abajo) en el periodo 2018-2022 en el Espacio Natural Protegido Sierra de las Nieves.



Fuente: Elaboración propia

**Agradecimientos:** Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto de investigación EGeoland (UMA20-FEDERJA-097) financiado por el Programa Operativo FEDER Andalucía, y por el proyecto B3-2020\_05 financiado por el Plan Propio de Investigación y Transferencia de la Universidad de Málaga.

## REFERENCIAS

- AEMET (2022). Resumen climatológico del año 2022. Madrid: AEMET. Recuperado de [https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia\\_clima/resumenes\\_climat/anuales/es\\_anual\\_clim\\_2022.pdf](https://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/anuales/es_anual_clim_2022.pdf)
- Alexander, J.M., Chalmandrier, L., Lenoir, J., Burgess, T.I., Essl, F., Haider, S., ..., Pellissier, L. (2018). Lags in the response of mountain plant communities to climate change. *Glob. Chang. Biol.*, 4, 563–579.
- Amblar Francés, P., Casado Calle, M.J., Pastor Saavedra, A., Ramos Calzado, P., Rodríguez Camino, E. (2017). *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5*. Madrid: Agencia Estatal de Meteorología. Recuperado de <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/11753>
- Arias-García, J. (2019). Propuesta metodológica para la identificación, caracterización y cualificación de los paisajes: la cuenca endorreica de Padul (Andalucía) como caso de estudio. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 80, 1–43. <http://doi.org/10.21138/bage.2604>

- CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE, SOSTENIBILIDAD Y ECONOMÍA AZUL. *Parque Nacional de la Sierra de las Nieves*. Sevilla: Junta de Andalucía, 2022. Recuperado de [https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/web/guest/landing-page-%C3%ADndice/-/asset\\_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/parque-nacional-de-sierra-de-las-nieves/20151](https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/web/guest/landing-page-%C3%ADndice/-/asset_publisher/zX2ouZa4r1Rf/content/parque-nacional-de-sierra-de-las-nieves/20151)
- Fischer, E.M., Knutti, R. (2015). Anthropogenic contribution to global occurrence of heavy-precipitation and high-temperature extremes. *Nature Climate Change*, 5(6), 560-564. <https://doi.org/10.1038/nclimate2617>
- Freppaz, M., Pintaldi, E., Magnani, A., Vinglietti, D., Williams, M.W. (2018). Topsoil and snow: a continuum system. *Applied Soil Ecology*, 123, 435-440.
- Gabherr, G., Gottfried, M., Paull, H. (1994). Climate effects on mountain plants. *Nature*, 369, 448. <https://doi.org/10.1038/369448a0>
- González Graña, A., Mora Posada, F., Estévez Domarco, P., Acosta Gallo, B., Montalvo Rodríguez, J. (2022). Cartografía de alta resolución del cambio climático reciente en España: Variabilidad territorial. En *Retos del Cambio Climático: impactos, mitigación y adaptación*, Actas del XII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología. Santiago de Compostela 19-21 de octubre. Universidad de Santiago de Compostela y Asociación Española de Climatología.
- González-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., de Luis, M. (2011). A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945-November 2005). *International Journal of Climatology*, 31, 715-731. <https://doi.org/10.1002/joc.2115>
- González-Hidalgo, J. C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., Cortesi, N. (2015). MOTEDAS: A new monthly temperature database for mainland Spain and the trend in temperature (1951-2010). *International Journal of Climatology*, 35, 4444-4463. <https://doi.org/10.1002/joc.4298>
- Gutiérrez-Hernández, O. (2018). Impacto del calentamiento global en la distribución y supervivencia del pinsapo (Serranía de Ronda). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 76, 504-549. <https://doi.org/10.21138/bage.2532>
- IPCC (2013). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Nueva York: Cambridge University Press.
- IPCC (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: University Press.
- Martínez-Murillo, J.F., Remond, R., Hueso-González, P., Ruiz-Sinoga, J.D. (2016). Resiliencia de la cubierta vegetal en un área de montaña mediterránea afectada por el fuego: el caso del incendio de Río Verde (provincia de Málaga, sur de España). *Pirineos*, 171, e024. <http://doi.org/10.3989/pirineos.2016.171008>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P. (2021). Tendencias regionales de los fenómenos extremos en el informe del IPCC. *Boletín de la OMM*, 71(1), 52-62.
- Mauritsen, T., Pincus, R. (2017). Committed warming inferred from observation. *Nature Climate Change*, 7, 652-655. <https://dx.doi.org/10.1038/nclimate3357>
- MITECO (2023). *Parque Nacional Sierra de las Nieves*. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/red-parques-nacionales/nuestros-parques/sierra-de-las-nieves/>.
- Mountain Partnership (2014). *Why mountains matter for forests and biodiversity—a call to action on sustainable development goals*. Recuperado de [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1915SDGs%20and%20mountains\\_forests%20and%20biodiversity\\_en.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1915SDGs%20and%20mountains_forests%20and%20biodiversity_en.pdf)
- Olmedo Cobo, J., Gómez Zotano, J. (2017). Los climas de la Serranía de Ronda: una propuesta de clasificación. *Takurunna*, 2017, 6-7, 23-57.
- Olmedo-Cobo, J. A., Pardo-Martínez, R., Gómez-Zotano, J. (2021). First data about the Holocene composition of mountain forests in the Sierra de las Nieves Natural Park (Ronda Mountains, Spain) through pedoanthracological analysis. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 89. <https://doi.org/10.21138/bage.3099>
- Palomo, I. (2017). Climate change impacts on ecosystem services in high mountain areas: a literature review. *Mountain Research and Development*, 37, 179-187. <https://www.jstor.org/stable/90009005>
- Ruiz-Sinoga, J. D., García-Marin, R., Martínez-Murillo, J. F., Gabarrón-Galeote, M. A. (2011). Precipitation dynamics in southern Spain: Trends and cycles. *International Journal of Climatology*, 31, 2281-2289. <https://doi.org/10.1002/joc.2235>

- Sillero-Medina, J. A., Martínez-Murillo, J. F., Ruiz-Sinoga, J. D. (2021). Increased rainfall erosivity and its effects on soil loss estimation: A comparison between two watersheds in southern Spain. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 89. <https://doi.org/10.21138/bage.3092>
- Tejedor, E., Saz, M. A., Cuadrat, J. M., Esper, J., de Luis, M. (2016). Temperature variability of the Iberian Range since 1602 inferred from tree-ring records. *Climate of the Past*, 13, 93-105. <https://doi.org/10.5194/cp-2016-9>
- Vanwalleghem, T., Gómez, J.A., Infante Amate, J., González de Molina, M., Vanderlinden, K., Guzmán, G., Laguna, A., Giráldez, J.V. (2017). Impact of historical land use and soil management change on soil erosion and agricultural sustainability during the Anthropocene. *Anthropocene*, 17, 13–29.
- Voltz, M., Ludwig, W., Leduc, C., Bouarfa, S. (2018). Mediterranean land systems under global change: current state and future challenges. *Regional Environmental Change*, 18, 619–622. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1295-9>
- Xie, S.B., Jian-Jun, Q., Yuan-Ming, Q., Zhi-Wei, Z., Xiang-Tianm, X. (2015). Effects of freeze-thaw cycles on soil mechanical and physical properties in the Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Mountain Science*, 12, 999–1009.