

COMPORTAMIENTO PREVISIBLE DEL PINSAPO ANTE LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO



BASADO EN LOS ESCENARIOS LOCALES DE CAMBIO CLIMÁTICO DE ANDALUCÍA
ACTUALIZADOS AL 4º INFORME DEL IPCC

Comportamiento previsible del Pinsapo (*Abies pinsapo*) ante los Escenarios de Cambio Climático del 4º Informe del IPCC

J.J. Guerrero¹, F. Cáceres², F. Giménez de Azcarate¹, J. M. Moreira².

(1) Departamento de Comunicación y Sistemas de Información, Agencia de Medio Ambiente y Agua, Johan Gutenberg, 1 (Isla de la Cartuja), 41092 Sevilla fgimenezdeazcarate@agenciamedioambienteagua.es, ijuerre-ro@agenciamedioambienteagua.es

(2) Servicio de Información y Evaluación Ambiental, Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Avda. Manuel Siurot, 50, 41071 – Sevilla, francisco.caceres@iuntadeandalucia.es

(3) Secretaría General de Medio Ambiente y Agua., Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, Avda. Manuel Siurot, 50, 41071 – Sevilla josem.moreira@iuntadeandalucia.es

0. Resumen

Se presenta un resumen de los resultados derivados del análisis de la incidencia de los nuevos escenarios de cambio climático a nivel local y sobre una de las especies más emblemáticas de la biodiversidad en Andalucía (*Abies pinsapo* Boiss). Este estudio tiene como objetivo realizar una prospectiva práctica que aprovisione de criterios útiles en la gestión y planificación de los paisajes del Pinsapo, en el marco de un proyecto mayor denominado “Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía” en el contexto de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) de la Consejería de Agricultura, Pesca y Medioambiente.

1. Introducción

Andalucía es una región rica y diversa. Buena parte de estos valores reside en su clima, caracterizado por un periodo estival donde todos los paisajes se zambullen en una fase crítica de varios meses cálidos y secos. Se trata del Clima Mediterráneo, y Andalucía ha sabido reproducir las combinaciones más sorprendentes y variopintas de muchos de los climas del planeta, entre ellos los bosques húmedos de montaña de un abeto muy singular: el Pinsapo.

Un centroeuropeo que estuviera tomando el sol en una playa de los alrededores de Estepona, difícilmente podría imaginar que los árboles que adornan las crestas de las montañas próximas, son realmente abetos, semejantes a los que crecen en los bosques de Centroeuropa, o que adornan en Navidades las casas que han adoptado esta tradición de origen celta (*imagen 1*). Pero así es, el Pinsapo (*Abies pinsapo* Boiss.) es un árbol singular, una joya botánica que da carácter a uno de los paisajes más curiosos de Andalucía, que ha quedado como testigo vivo de la última glaciación, y que tras la retirada de los hielos emigro y permaneció atrapado en algunos de los cinturones montañosos y lluviosos del Sur de la Península Ibérica.



Imagen 1. Bosques de Pinsapo de Sierra Bermeja, último frente montañoso que cae sobre la costa de Estepona. Autor: José González Granados.

En la actualidad la superficie del Pinsapo se extiende aproximadamente a 8.300 ha, limitada a unas pocas regiones montañosas de Grazalema y Málaga. Los núcleos principales se encuentran en la Sierra de Grazalema, Sierra de las Nieves y Sierra Bermeja. Sin embargo, estudios polínicos recientes han demostrado que el Pinsapo se refugió también en regiones del sureste de la peninsular hace menos de 20.000 AP, seguramente en el cinturón boscoso del *Macizo Subbético*, donde aun arroja índices aceptables de potencialidad (*figura 3*).

El Pinsapo no es el único abeto mediterráneo. Otras especies de abetos adaptados a un periodo estival cálido y seco, se distribuyen puntualmente por sierras cercanas al Mar Mediterráneo, no solo de Europa, también Asia y África (*imagen 2*), algunos constituidos por poblaciones de unos pocos individuos al borde de la extinción (*Abies nebrodensis* (Lojac.) *Mattei* en las montañas de Madonia (Sicilia) con poco más de 30 ejemplares). En todos los casos, estos peculiares abetos se refugian en áreas de media montaña, donde las temperaturas frescas y precipitaciones altas, compensan sus exigencias fisiológicas.



Imagen 2. *Abies marocana* (Trabut) Ceballos & Bolanos sinónimo de *Abies pinsapo* var. *marocana*, de las montañas de Rif, en Marruecos. Autor: Juan José Guerrero Álvarez.

Su estrategia le ha dado resultado en sucesivas glaciaciones. Es en estas alcazabas montañosas donde el Pinsapo (y otros abetos circunmediterráneos) permanece guarecido a la espera de que los tiempos cambien, la era interglaciar actual remonte hacia un nuevo periodo más húmedo y frío, y reconquistar los terrenos perdidos. Sin embargo, en esta ocasión la espera puede llevar más tiempo de lo previsto.

Efectivamente, no existe ninguna razón para creer que los ciclos glaciares han finalizado. Con casi 30 años de retraso, el mundo conocería la obra del ingeniero y geofísico *Milutin Milanković*, publicada en Serbia en el año 1941. *Milanković* explicó en gran medida las causas de las glaciaciones gracias a la combinación favorable de tres ciclos que marcan una irregularidad periódica del movimiento de la tierra respecto del sol (*figura 1*). El acople positivo de estos tres grandes ciclos daría lugar a veranos suaves e inviernos crudos, combinación que permitiría en zonas con latitud y altura favorable, una acumulación progresiva de nieve y posterior formación de glaciares. Según esta teoría nos encontramos al final de un periodo interglaciar (con un ciclo de 125.000 años), sin embargo, según algunas opiniones, la

entrada en juego de la especie humana va prolongar previsiblemente este periodo a causa de denominado Cambio Climático Global, en un nuevo periodo conocido como “super-interglaciar”.

En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo exponer las claves necesarias para interiorizar en la planificación y gestión de los paisajes del Pinsapo los procesos de transformación del hábitat que previsiblemente va a desencadenar el Cambio Climático, tanto donde existe en la actualidad, como donde previsiblemente podría existir, ahora o en el futuro. Por último, otro objetivo importante que persigue este texto y trabajo en el que está basado, consiste en facilitar al lector un ejemplo de aplicación de otro proyecto mayor que lo engloba: los *Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía*.

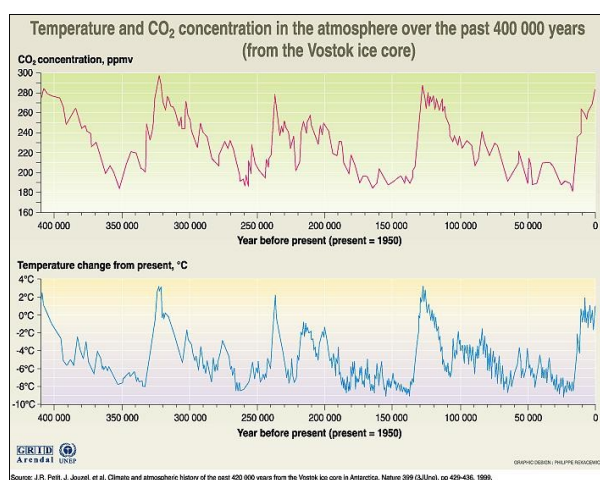


Figura 1. Ciclos de Milanković reflejados en la evolución de la concentración atmosférica de CO₂ y temperatura, desde hace 400.000 años atrás.

2. Los Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía

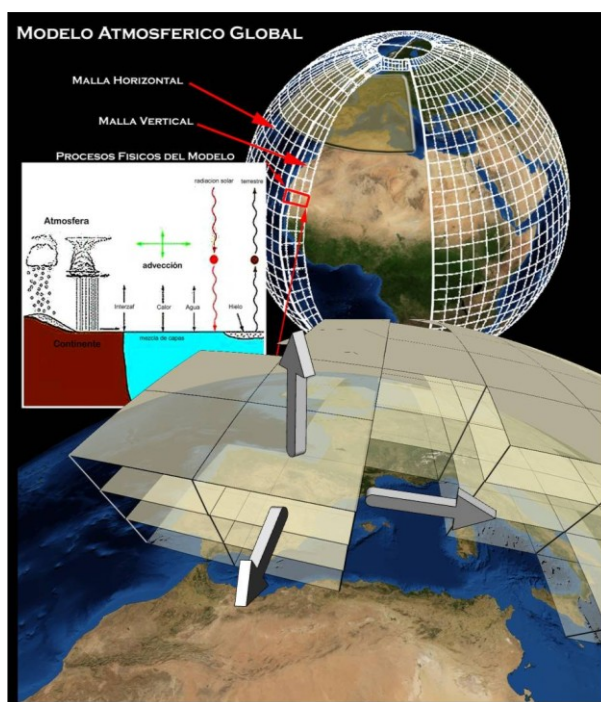
Los *Escenarios Locales de Cambio Climático* de Andalucía y sus respectivas actualizaciones a los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), constituye un conjunto de datos e información geográfica ideado como instrumento básico para los estudios prospectivos que persiguen conocer los efectos previsibles del Cambio Climático en un determinado sector o componente del ámbito local andaluz. Se trata del resultado de varios años de trabajo científico y técnico en el ámbito del Cambio Climático a escala local en Andalucía. El objetivo no solo ha sido pronosticar los cambios esperados en variables climáticas, sino que ha llegado más lejos para así adelantar las consecuencias que dichos cambios causarían sobre aspectos y procesos críticos tales como la producción primaria, hábitats, régimen hídrico, confort climático, etc.

Aunque es inevitable, su intención no es crear opinión, sino proporcionar información técnica sobre las consecuencias que el Cambio Climático pueda tener en los diferentes sectores de la comunidad andaluza, usando para ello los mejores medios científicos y técnicos de los que disponemos hasta el momento. Estos datos e información son proporcionados en un formato y estructura para su explotación mediante *Sistema de Información Geográfica*, con una visión de aplicabilidad

abierta y flexible a dos ámbitos de conocimiento: el universitario o de investigación, y al de planificación y gestión.

A continuación se exponen de manera resumida los resultados obtenidos tras aplicar los *Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía* al caso concreto de los efectos previsibles del Cambio Climático sobre el hábitat del Pinsapo.

Figura 2. La principal herramienta para la prospección del clima de las próximas décadas son los denominados Modelos de Predicción Numérica del Clima (MPNCs) o como se les conoce comúnmente, Modelos de circulación General (MCGs). Estos modelos son transformados a escala local (downscaling), gracias a los denominados modelos de regionalizados de Cambio Climático.



3. El Hábitat del Pinsapo y sus cambios previsibles durante el siglo XXI

“... para las plantas es completamente indiferente que, por ejemplo, las condiciones térmicas favorables estén determinadas por el macroclima o por la localización del biotopo en una ladera resguardada hacia el sur. Tampoco tiene importancia para las plantas que la humedad necesaria del suelo se consiga gracias a una distribución favorable de las precipitaciones, o una evapotranspiración reducida debida a una orientación hacia el norte o a la estructura del suelo y a la proximidad del agua freática, lo principal es que la planta no carezca de agua.” (Walter, H.).

Se da por hecho que el Clima es el factor modelador del resto de componentes del medio físico y biótico. Por medio de los fenómenos de meteorización y erosión, el Clima actúa transformando relieve, roca y suelo, y condiciona la vegetación que crece sobre ellos. De esta forma, se considera al Clima como un factor determinante que define la envolvente de todos los arreglos a las que puede llegar el hábitat de una especie vegetal, y son el resto de componentes del medio físico y biótico, los que modelan y descubren la configuración final de este. Efectivamente el clima es crucial, sin embargo, no siempre tiene la última palabra para el desarrollo de la vida, ya que en ocasiones el resto de factores tienen un efecto multiplicador o atenuador sobre las variables que realmente

interesan a la vegetación, como es disponibilidad de agua y temperatura. No es mucho margen, pero a veces el suficiente para que una especie pueda persistir en un hábitat que a primera vista no le es favorable, y es en este estrecho espacio donde previsiblemente reside la clave de la supervivencia del Pinsapo ante el Cambio Climático.



Imagen 3. La interceptación de brumas son el clásico ejemplo de transformación del clima por la vegetación. Autor: Juan José Guerrero Álvarez.

Se trata de los denominados “microclimas” y “áreas azonales”. Son lugares no muy extensos, donde el papel de otros factores como la orografía, edafología, estructura de la comunidad vegetal, etc. va a transformar las condiciones generales del clima al intensificar o atenuar uno o varios parámetros básicos de la fisiología de la especie. En ocasiones, las más frecuentes, este efecto solo sirve para menoscabar alguno de estos parámetros (una exposición sur, suelos poco profundos, alta pendiente, etc. cuyo efecto tiende a disminuir la humedad del suelo y ambiente), mientras que en otras da lugar a hábitats singulares con un clima especial y localizado, cuyo resultado final es una mayor independencia del clima general de la zona.

Este efecto le permite al Pinsapo constituir poblaciones estables en áreas de poca altitud, donde las temperaturas son mayores, pero que compensa gracias a que se refugia en cañadas y orientaciones poco expuestas al sol, donde el gradiente en ladera le es favorable, tanto a la hora de acumular más suelo, como por los aportes laterales de agua. En muchas ocasiones el Pinsapo se beneficia y coloniza comunidades vegetales relativamente consolidadas que los protegen de la radiación directa y exposición a vientos desecantes, gracias a la capacidad que tienen sus chirpiales a tolerar la sombra. Un efecto no lo suficientemente investigado para el Pinsapo, consiste en el aporte extra de precipitación gracias a las nieblas de montaña, algunas muy importantes en zonas como el Pinar de Grazalema (imagen 3), cuya orientación y acción embudo de la configuración del relieve para las brumas, que junto a sus altas precipitaciones, permite sustentar a muy baja cota uno de los pinsapares más extensos. Estas precipitaciones no existirían si no hubiera consolidado un dosel vegetal que actúa como fieltro interceptor del agua de las brumas, que en el caso del Pinsapo es muy eficaz gracias a la gran superficie específica y disposición de hojas y ramas.



Imagen 4. Los individuos de Pinsapo que crecen en la base de los acantilados de piedra caliza con orientación norte predominante, suelen tener varias ventajas para el crecimiento. Este refugio le sirve de abrigo a la exposición prolongada del sol, disminuyendo la evapotranspiración de referencia y como consecuencia mejorando su balance hídrico. También los protege del viento, y en muchas ocasiones reciben la precipitación extra que no puede infiltrarse en la roca. Autor: Juan José Guerrero Álvarez.

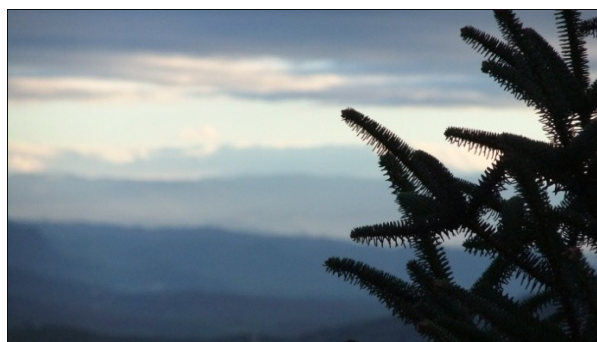


Imagen 5. La disposición de las hojas y ramas del Pinsapo constituyen una arquitectura muy eficaz en la captación de nieblas. Autor: Juan José Guerrero Álvarez.

El Cambio Climático va transformar previsiblemente el hábitat del Pinsapo debido al cambio del comportamiento de dos factores climáticos básicos como son la temperatura y precipitación, no solo en sus valores medios, sino en su distribución temporal y efecto combinado de una con la otra. En efecto, no se obtiene el mismo resultado si la precipitación disminuye en invierno que en primavera, ya que para la planta lo importante es disponer de un balance hídrico positivo cuando la temperatura es favorable para la fotosíntesis. Es por este y otros muchos motivos, que el estudio de los cambios que puede provocar el Cambio Climático sobre el hábitat del Pinsapo, es necesario abordarlos con el estudio de variables fisiológicas que repercuten directamente sobre el vegetal, tales como evapotranspiración de referencia, balance hídrico, integral de horas disponibles para la fotosíntesis, etc.

La *tabla 2* facilita las variaciones previsibles de temperatura y precipitación de los hábitats del Pinsapo para los escenarios de Cambio Climático del modelo CNCM3¹. Como se puede observar, el ámbito de Grazales es el más lluvioso y esta propiedad, aunque en menos cuantía no cambia para los diferentes escenarios y periodos climáticos. Esta lluvia es precisamente la que compensa sus temperaturas más elevadas, ocasionadas por su localización más baja y continental. Sin embargo, el aumento de temperaturas tanto en su media como extremos es muy considerable, constituyendo el factor más crítico en la supervivencia del Pinsapo, sobre todo en la Sierra de Grazales.

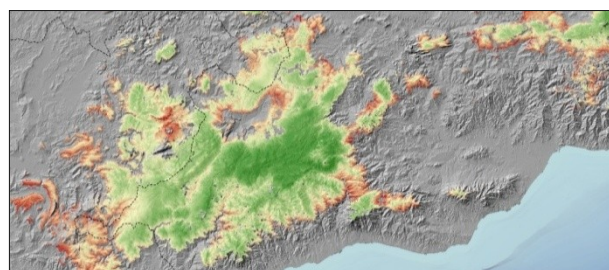
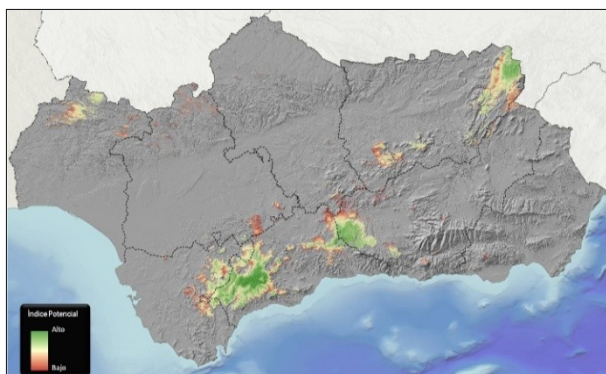


Figura 3. Distribución potencial del Pinsapo para el periodo de referencia 1961-2000.

Para conocer las consecuencias del Cambio Climático sobre el hábitat de una especie vegetal, se suele recurrir a los modelos de simulación de distribución potencial. La metodología usada en este trabajo ha sido una caracterización paramétrica basada en 27 parámetros de autoecología relacionados con la orografía, suelo, clima y fisiología vegetal. El resultado de este análisis es el denominado “índice de potencialidad” (*Ipot*), cuya distribución territorial se estima para el periodo de referencia climático 1961-2000 (*figura 3*), y se proyecta a lo largo del presente siglo en los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2099 (*tabla 2*).

Gráficas como la facilitada en la *figura 4*, son muy útiles para la representación del grado de transformación del hábitat del Pinsapo. En esta, se compara el índice de potencialidad del periodo 1961-2000 con el periodo de referencia 2041-2070 de la misma población, para el escenario concreto

A1b² y modelo CNCM3. La línea gruesa representa el umbral de estabilidad, mientras que la punteada indica la tendencia.

Como se puede observar en esta gráfica, la transformación del hábitat del Pinsapo no tiene un comportamiento de depreciación proporcional al estado inicial de la población, lo que da lugar a que poblaciones actuales en situación marginal, mejoren las condiciones del hábitat. Esta es una observación muy interesante, ya que estas poblaciones pueden representar en el futuro núcleos de expansión del Pinsapo.

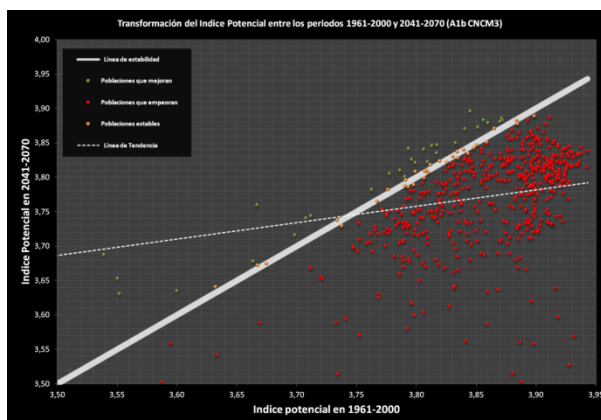


Figura 4. Grado de transformación del hábitat del Pinsapo según el escenario A1b y modelo CNCM3. Comparación con el periodo de referencia 2041-2070.

Ámbito	Área	Altitud	IS	Ipot			
				61-00	11-40	41-70	71-99
Sierra de las Nieves	6.539 ha	1.214 m	1.713 h	3,81	3,71	3,03	1,83
Grazales	2.109 ha	994 m	1.604 h	3,55	1,72	0,51	0,00
Sierra Bermeja	476 ha	1.104 m	1.622 h	3,80	3,79	3,70	3,62

Tabla 1. Previsión del Índice de Potencialidad para el escenario A1b y modelo CNCM3. La columna IS contiene los valores de Incidencia Solar o grado de exposición al Sol.

En la *tabla 1* se ofrece la evolución del Índice Potencial del Pinsapo (*Ipot*) en los diferentes ámbitos, y periodos climáticos. El dato más destacado es el desplome de los valores de este índice en todos los ámbitos, sobre todo en la Sierra de Grazales, donde se encuentran las poblaciones de esta especie a menor altitud. Si analizamos pormenorizadamente las variables ecológicas que dan lugar a este fuerte descenso del *Ipot* (*figura 5*), observamos que son las variables relacionadas directamente con la temperatura (temperatura media, temperatura media del mes más cálido, etc.) las responsables de este hecho, y no tanto las variables más cercanas al comportamiento de la especie respecto del agua, como puede ser la evapotranspiración de referencia, integral productiva o disponibilidad fotosintética (*tabla 4*). Esta es una observación muy importante, ya que al menos se puede asegurar que los cambios en el hábitat del Pinsapo no van a ser tan importantes en su régimen hídrico o productivo, factor fisiológico muy crítico para esta especie y que incluso aumenta en áreas como la Sierra de Grazales (*tabla 4*). Igualmente, en la *tabla 4* puede apreciarse como la variación de los valores de evapotranspiración de referencia y producti-

¹ Modelo de Circulación General CNCM3 (*Centre National de Recherches Météorologiques, Francia Météo-France*), de 2.8° de resolución espacial. Este MCG ha sido simulado bajo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) consideradas en los escenarios A1b, A2 y B1.

² El escenario A1b, se desenvuelve en una sociedad mundial globalizada, en un contexto económico orientado al mercado, con máxima rapidez de crecimiento por habitante, y máximo número de habitantes en 2050 y disminución posterior, y una situación de equilibrio de energías fósiles y renovables.

vidad no se correlaciona con el desplome de potencialidad, sobre todo en Grazales, que a pesar de su baja altitud y temperaturas relativamente altas, es capaz de compensar el estrés hídrico gracias a su baja exposición solar (tabla 1).

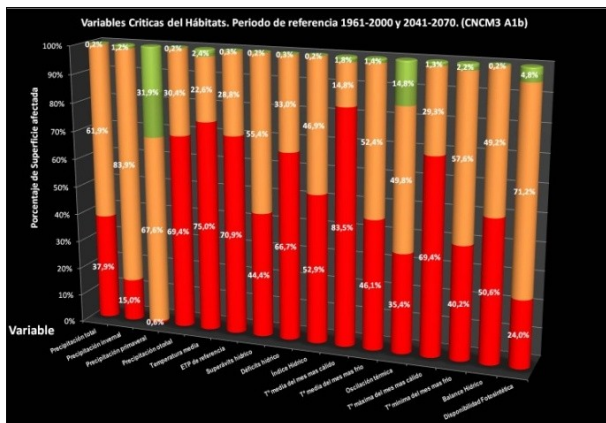


Figura 5. Diagrama de variables críticas del Pinsapo. El diagrama de variables críticas da medida y discrimina para cada una de las variables del hábitat (cada columna del gráfico) su grado de responsabilidad en la pérdida (color rojo), ganancia (color verde) o estabilidad (color naranja) de área potencial según el Ipot.

Otro dato a destacar del estudio es el buen comportamiento y grado de estabilidad del Ipot en áreas donde el Pinsapo ha desaparecido. Este dato indica la importancia que conlleva en la gestión y planificación de los paisajes del Pinsapo, la recuperación de poblaciones en zonas donde antes lo hubo. La mayor parte de los lugares donde ha desaparecido el Pinsapo (algo más de 800 ha), ha sido a causa de incendios forestales.

Otras variables muy importantes para protección y manejo del Pinsapo, son la altitud y la exposición. La altitud es una variable ecológica indirecta, que para una latitud determinada, es un buen indicador del hábitat de una especie, pero que sin embargo para previsiones a futuro, debe de excluirse como parámetro del hábitat. Respecto a la exposición al Sol, aquí usado el parámetro físico denominado Incidencia Solar (horas), lo más correcto es integrarlo en los modelos de simulación como valor integrado en la evapotranspiración de referencia. Según estos dos factores, y como queda indicado en las graficas de las figuras 7 y 8, el comportamiento esperado del Pinsapo es una tendencia a buscar áreas compensadas por aumento de la altitud y disminución de la exposición (+300 metros y -400 horas respectivamente según el escenario A1b y Modelo CNCM3).

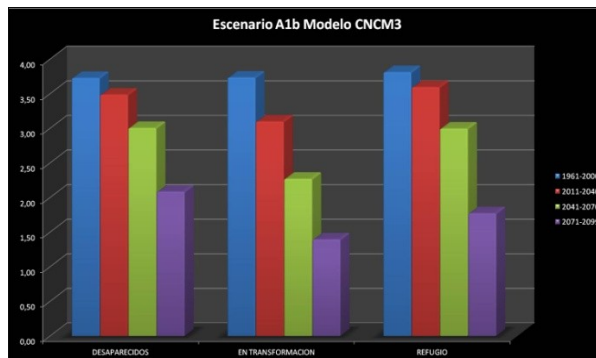


Figura 6. Comportamiento del Pinsapo en función de la estabilidad actual de la población: <<PINSAPARES REFUGIO.- Son aquellas localizaciones de pinsapo “estables y maduras” que no han sufrido variaciones importantes en los últimos 40 años, y que por tanto el principal objetivo es su conservación; mediante tareas de seguimiento, vigilancia y mantenimiento de infraestructuras básicas que aseguren su estabilidad. (Superficie: 918 ha). PINSAPARES EN TRANSFORMACIÓN.- Son aquellas zonas de pinsapar donde se vienen produciendo procesos de cambio en sus densidades poblacionales, o zonas con presencia de pinsapos aislados, que requieren actuaciones de densificación poblacional para conseguir su estabilidad natural. Además es importante la realización y mantenimiento de infraestructuras básicas que permitan la adecuada “gestión adaptativa” de estos ecosistemas. En estos pinsapares es muy importante el seguimiento y estudio de su dinámica poblacional, para prever y asignar las medidas necesarias para conseguir su estabilidad natural. (Superficie: 7.361 ha). PINSAPARES DESAPARECIDOS.- Son aquellos pinsapares de los que se tiene constancia escrita y/o práctica de su existencia, y que las condiciones de estación actuales son potencialmente aptas para su reforestación. Se trata principalmente de rodales de pinsapo desaparecidos por causa de los incendios forestales. (Superficie: 846 ha).>> Texto íntegro del Programa de Actuación del Pinsapo.

En todo caso, la tendencia que previsiblemente manifestará el Pinsapo buscando refugios a más altitud y menos insolación, lo emplazará en localizaciones con bajo índice de potencialidad (figuras 8 y 9), debido a que muchas de estas zonas son de media montaña, con suelos poco desarrollados, muy expuestas al viento y factores extremos (imagen 7).

		Variable Climática (valores medios)							
		Temperatura Media (°C)				Precipitación (mm)			
		Período Climático							
Ámbito	Escenario	1961-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2099	1961-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2099
Sierra de las Nieves	A1b	12.08 C	13.19 °C	14.65 °C	15.51 °C	1.062 mm	1.044 mm	906 mm	883 mm
	A2		12.97 °C	14.45 °C	16.30 °C		1.023 mm	860 mm	878 mm
	B2		13.25 °C	13.73 °C	14.32 °C		964 mm	984 mm	911 mm
Sierra de Grazales	A1b	14.74 °C	15.87 °C	17.36 °C	18.29 °C	1.546 mm	1.437 mm	1.190 mm	1.125 mm
	A2		15.64 °C	17.21 °C	19.12 °C		1.397 mm	1.146 mm	1.118 mm
	B2		15.95 °C	16.45 °C	17.14 °C		1.277 mm	1.320 mm	1.197 mm
Sierra Bermeja	A1b	12.68 °C	13.69 °C	15.03 °C	15.81 °C	1.163 mm	1.138 mm	945 mm	908 mm
	A2		13.47 °C	14.88 °C	17.08 °C		1.109 mm	895 mm	894 mm
	B2		13.83 °C	14.13 °C	14.76 °C		1.027 mm	1.045 mm	954 mm

Tabla 2. Previsión de Temperatura media anual y precipitación acumulada para los escenarios A1b, A2 y B1, según el modelo CNCM3

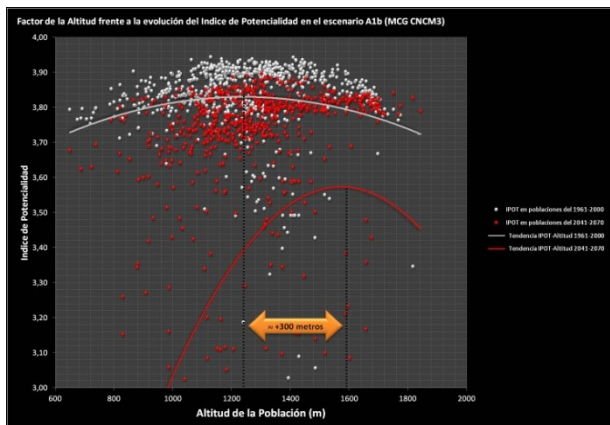


Figura 8. Comportamiento previsible del Pinsapo frente a la altitud.

Otra forma de analizar la evolución previsible de los Pinsapares consiste en proyectar a futuro la evolución de la unidad bioclimática que caracteriza su emplazamiento. Uno de los productos de los *Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía*, son las unidades bioclimáticas de Andalucía según una clasificación establecida en 14 grupos, usando 3 variables generales de autoecología, una productiva: “la Integral Productiva”³ y dos limitantes: “la Temperatura media del mes más cálido” y “Temperatura media del mes más frío”. Su proyección a futuro definirá la evolución del bioclima asociado a cada comunidad vegetal (figura 7).



Imagen 7. Peñón de los Enamorados (Parque Natural de Sierra de las Nieves). Repoblación forestal de *Abies pinsapo* y *Quercus alpestris* en la Meseta de los Quejigos. Se trata de una zona a más de 1700 metros de altitud muy expuesta a los vientos y nieve, donde prosperan de manera marginal algunos pinsapos. Es el límite arbóreo del Pinsapar, que previsiblemente se beneficiará del Cambio Climático. Autor: Juan José Guerrero Alvarez.

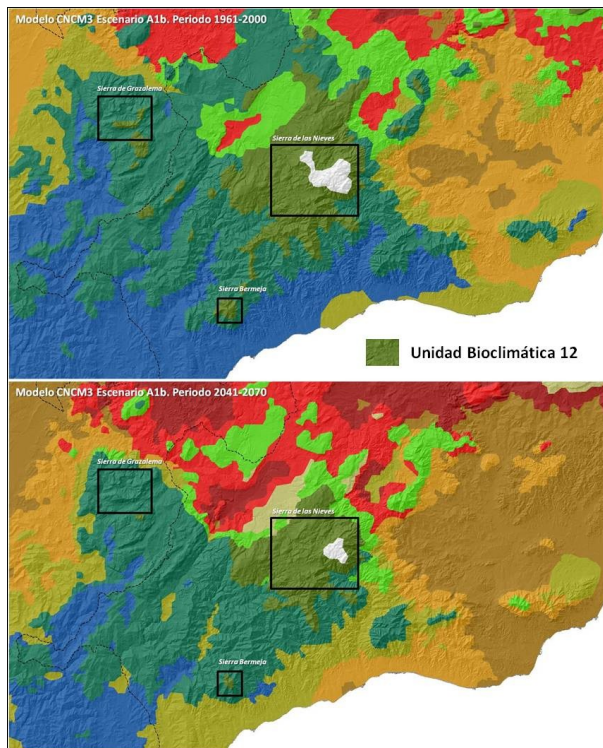


Figura 7. La unidad bioclimática asociada al pinsapo es la número 12. Con sus 2868 horas de “Integral Productiva”, es una de las unidades climáticas más productivas de Andalucía. Es más fresca (13,0°C de TMA) y húmeda (905 mm) que otras unidades semejantes como la 10 (verde claro), dando como computo general una mayor productividad. Esta unidad bioclimática se caracteriza por albergar los bosques húmedos de media montaña, tales como los pinsapares (*Abies pinsapo*) y quejigales (*Quercus alpestris*) de Grazalema y Sierra las Nieves, el anillo más boscoso de Sierra de Cazorla, Segura y las Villas, constituido por pinares carrasco y negral (*Pinus halepensis* y *P. pinaster*) y Sierra Tejeda y Almajara en la vertiente norte. Otra zona donde también aparece esta unidad, como Sierra de Loja, Sierra Sur de Jaén o Subbéticas de Córdoba, las áreas boscosas son escasas o no tan exuberantes. Esta unidad deriva a la 4 (color blanco), cuando las condiciones de alta montaña empiezan a imponerse, por lo que suele mostrarse como un anillo alrededor de estas (3,6% de Andalucía). Diagrama de variables críticas del Pinsapo.

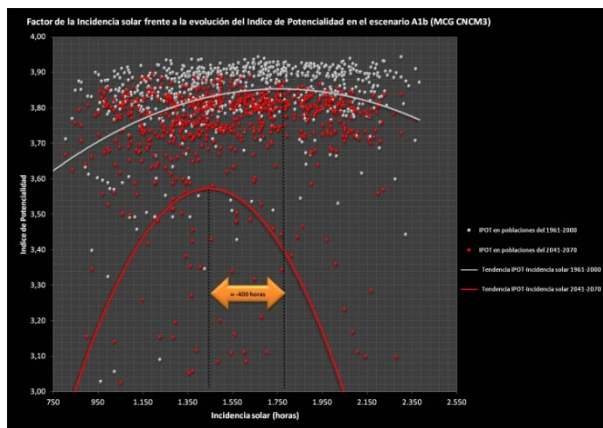


Figura 9. Comportamiento previsible del Pinsapo frente a la exposición solar.

³ La *Integral Productiva* es la suma total de horas que una planta tiene disponibles para la realización de la fotosíntesis en condiciones de balance hídrico positivo, y temperatura mayor de 7,5 °C.

		Variable del Hábitat (valores medios)							
		Temperatura media del mes más cálido (°C)				Déficits Hídrico			
		Periodo Climático							
Ámbito	Escenario	1961-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2099	1961-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2099
Sierra de las Nieves	A1b	21.43 °C	22.66 °C	24.68 °C	25.69 °C	403 mm	434 h	479 h	504 h
	A2		22.58 °C	24.24 °C	26.58 °C		420 h	479 h	527 h
	B2		23.09 °C	23.68 °C	24.12 °C		456 h	444 h	490 h
Sierra de Grazalema	A1b	24.49 °C	26.11 °C	27.47 °C	28.98 °C	313 mm	343 h	378 h	405 h
	A2		26.06 °C	27.46 °C	30.21 °C		333 h	388 h	428 h
	B2		25.90 °C	26.88 °C	27.60 °C		367 h	359 h	399 h
Sierra Bermeja	A1b	21.90 °C	22.93 °C	24.58 °C	25.51 °C	357 mm	386 h	418 h	448 h
	A2		22.84 °C	24.11 °C	25.94 °C		366 h	426 h	469 h
	B2		23.24 °C	23.72 °C	24.22 °C		409 h	393 h	437 h

Tabla 3. Previsión de Temperatura media del mes más cálido y Déficits Hídrico según el modelo CNCM3, en áreas donde se desarrolla el Pinsapo

		Variable del Hábitat (valores medios)							
		Evapotranspiración de Referencia (mm)				Integral productiva (horas)			
		Periodo Climático							
Ámbito	Escenario	1961-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2099	1961-2000	2011-2040	2041-2070	2071-2099
Sierra de las Nieves	A1b	800 mm	863 mm	925 mm	959 mm	2833 h	3059 h	3098 h	3077 h
	A2		855 mm	916 mm	991 mm		2995 h	2962 h	3030 h
	B2		867 mm	885 mm	913 mm		3031 h	3004 h	3014 h
Sierra de Grazalema	A1b	739 mm	791 mm	841 mm	869 mm	3480 h	3700 h	3800 h	3787 h
	A2		784 mm	834 mm	897 mm		3675 h	3783 h	3831 h
	B2		794 mm	809 mm	831 mm		3702 h	3707 h	3767 h
Sierra Bermeja	A1b	739 mm	792 mm	842 mm	873 mm	3109 h	3378 h	3628 h	3657 h
	A2		785 mm	836 mm	901 mm		3343 h	3601 h	3657 h
	B2		797 mm	808 mm	833 mm		3406 h	3438 h	3552 h

Tabla 4. Previsión de Eto e Integral Productiva según el modelo CNCM3 en áreas donde actualmente se desarrolla el Pinsapo.

4. Conclusiones.

Los datos prospectivos de los modelos de simulación territorial de especies vegetales en el contexto de Cambio Climático, deben usarse no como una visión determinista del futuro, sino como un modo de prever tendencias con el fin de controlarlas o mitigarlas con la planificación y gestión, así como delimitar las lagunas de conocimiento de un fenómeno tan complejo como este. Sus conclusiones no pueden ser otras que avanzar en el conocimiento y orientar los nuevos trabajos. Sin perder de vista este contexto, las conclusiones a este trabajo prospectivo son las siguientes:

1. El comportamiento previsible y generalizado del Pinsapo será su retirada a hábitats que compensen los problemas de humedad y temperatura a los que se va a ver sometido con el Cambio Climático, por medio de factores dependientes de la orografía como la exposición solar, altitud, gradiente de ladera y exposición al viento.

2. Las variables relacionadas directamente con la temperatura (temperatura media, temperatura máxima, etc.), serán más críticas que las relacionadas con la humedad. Sin embargo, será este último factor el que compense en refugios microclimáticos, el progresivo aumento de las temperaturas.

3. La retirada a refugios más altos y menos expuestos del Pinsapo y la prosperidad de comunidades vegetales más termófilas a su alrededor acentuará en gran medida el efecto

isla, segmentación de las poblaciones o aislamiento genético y riesgo de incendios forestales.

4. De este estudio se desprende la gran importancia que tendrán en el futuro los núcleos residuales actuales de Pinsapo, fundamentalmente los situados a mucha altitud o en zonas de baja exposición solar. Igual ocurre con las poblaciones desaparecidas.

5. Ante los escenarios de Cambio Climático del 4º Informe del IPCC, es previsible que muchos pinsapares queden fuera de estación.

6. Para conocer la importancia que supone para la fisiología del Pinsapo factores relacionados con las temperaturas y su compensación con otros factores, es muy importante desarrollar programas de investigación más allá del ámbito donde actualmente se extiende el Pinsapo.

7. Sierra de las Nieves es previsiblemente el núcleo refugio más importante para esta especie.

8. A pesar de los resultados desalentadores para la Sierra de Grazalema, es en esta localidad donde el hábitat del Pinsapo mantiene mejores parámetros hídricos para su fisiología. Todo dependerá de su comportamiento ante rangos de temperatura excepcionales, y que más que incidir sobre su fisiología, lo harán sobre plagas y enfermedades que se vean beneficiadas por este cambio o por la pérdida de competitividad con otras especies arbóreas.



Figura 10. Los Escenarios Locales de Cambio Climático. Una ventana no excluyente al futuro.

9. Es muy importante para esta y otras especies mejorar los modelos territoriales de predicción de variables ecológicas y potencialidad, así como la mejora y densificación de la red de estaciones meteorológicas en áreas forestales.



Imagen 9. Pinsapar de la Yedra. Pinsapar orientado al sur con ejemplares de alta calidad, se refugia en una ladera escondida al fondo de la Cañada. Autor: Juan José Guerrero Álvarez.

10. Es muy posible que la extensión actual del Pinsapo esté muy sesgada por variables antrópicas, y su distribución real pudiera ser mucho mayor. Es por este motivo que en muchas zonas tiene un comportamiento expansivo. Este es un problema transparente a los modelos de simulación usados. En todo caso la situación hoy en día del Pinsapo con la que se enfrentará al Cambio Climático es ciertamente fuerte y esperanzadora, tras la correcta gestión de la que se ha beneficiado en las últimas décadas.



Imagen 8. En el fondo del barranco, el Pinsapar de la Cañada de los Tejos. Con orientación predominantemente sur, los pinsapos prosperan en la vaguada resguardada del sol y el viento, rodeada de sabinas sobre litosuelos. Autor: Juan José Guerrero Álvarez.