
**XVI Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica
25, 26 y 27 de Junio de 2014. Alicante.**

Efectos previsibles del Cambio Climático sobre el Paisaje de Andalucía

Juan José Guerrero^{1*}, Michela Ghislanzoni², Fernando Giménez de Azcárate¹, Jorge Alcántara³, Daniel Romero⁴, Francisco Cáceres⁵, José Manuel Moreira⁵

¹Agencia de Medio Ambiente y Agua. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía - REDIAM

²Territoria, análisis y gestión del medio SL – REDIAM

³Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales y Experimentales, Avenida San Alberto Magno s/n, Córdoba 14071

⁴RqueR tecnología y sistemas SL – REDIAM

⁵Viceconsejería. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía - REDIAM

Resumen

El clima es uno de los factores que más influyen sobre el paisaje. Si tomamos la definición de paisaje como la expuesta por el Convenio Europeo del paisaje (Florencia, 2000): “cualquier parte del territorio, tal y como la percibe la población, cuyo carácter sea el resultado de la interacción de factores naturales y humanos”, el clima influye sobre el paisaje por dos vertientes muy diferentes. Por un lado, y aunque su relación no es directa, la climatología general, y el microclima en particular de un lugar, son responsables inmediatos de aspectos territoriales tales como la vegetación, el relieve y la forma del terreno o las propiedades del suelo, llegando incluso a condicionar las intervenciones humanas sobre el territorio. Por otra parte el clima repercute directamente sobre el paisaje, al influir y formar parte consustancial de la percepción humana del territorio.

* E-mail: jjguerrero@agenciamedioambienteayagua.es

Este artículo pretende hacer una prospectiva exploratoria de los cambios previstos en el paisaje desde la perspectiva del Cambio Climático, aprovechando la actualización de los Escenarios y Modelos Locales de Cambio Climático de Andalucía para el cuarto informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Palabras clave: clima; Paisaje; Cambio Climático; Percepción; Modelos de Circulación General (MCG); Downscaling.

1. Introducción

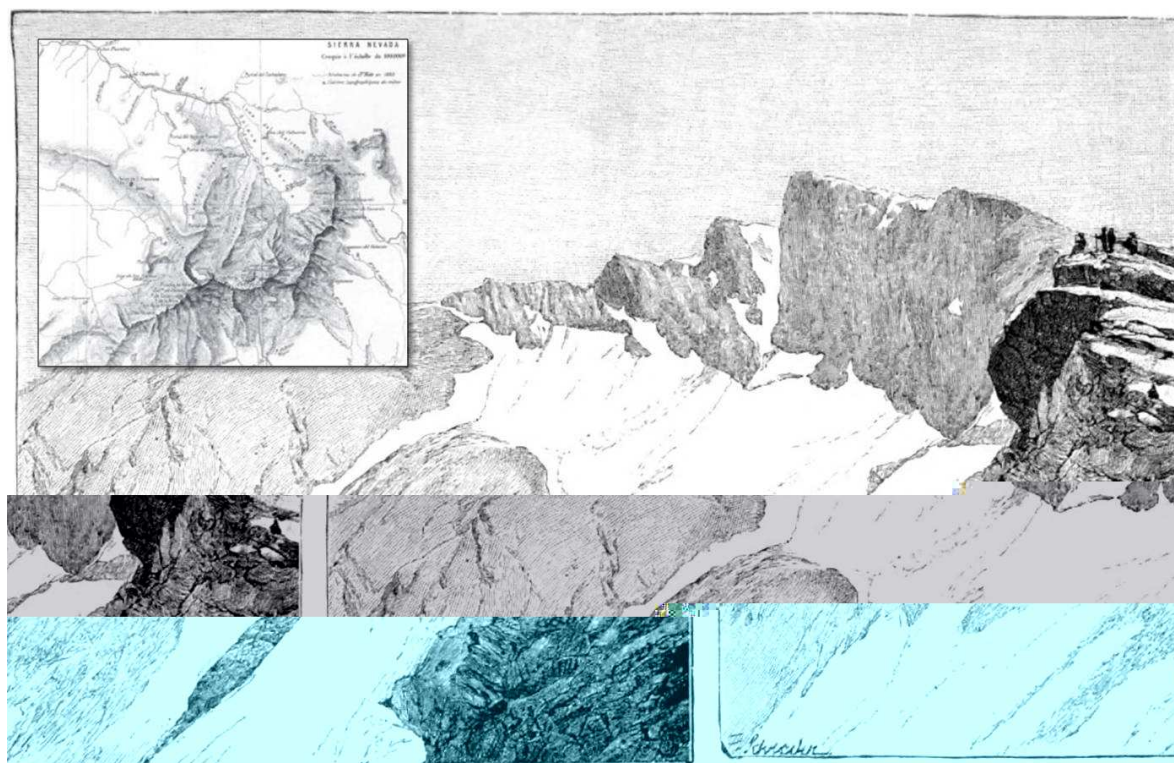


Fig. 1. Paisajes del Cambio Climático. Los paisajes marcados claramente por la huella del Cambio Climático en Andalucía son muy excepcionales. Uno de ellos es el Corral del Guarnón (Cara Norte del Veleta). Mientras que los glaciares de alta montaña como los presentes en el Pirineo y Alpes están retrocediendo a una velocidad preocupante, en Andalucía desapareció el único existente durante el siglo pasado. “El glaciar tiene una pendiente muy inclinada, su altura perpendicular solo tiene 200 a 300 pies, su ancho más o menos 600 pasos y está atravesado por numerosas grietas transversales de apenas una pulgada de ancho (...). Tiene la peculiaridad de ser el único en toda la Sierra y más meridional de Europa (...). Su altura es de 9000 pies y presenta en miniatura todos los caracteres de los glaciares alpinos, hendiduras, hielo impuro, morrenas fangosas en su base y sus laterales, por fin riachuelos de aguas turbias que se escapan en su extremidad por varias cavernas excavadas en el hielo.” Boissier, Viaje Botánico al sur de España, año 1837.

Trasmitir al ciudadano una imagen que muestre de una manera elocuente las consecuencias que tendrá el Cambio Climático en su entorno más cercano, es una tarea muy complicada (figura 1). La información que llega sobre este es muy general, haciendo referencia a efectos globales sobre el planeta, localidades lejanas o efectos cuyos impactos son difíciles de valorar. ¿Cómo afectará a nuestra vida cotidiana el incremento de 3°C de la temperatura media global del planeta Tierra?, ¿o la desaparición de los glaciares del Pirineo? Todo queda muy lejano, se trata de información muy desligada de nuestro día a día, y por consiguiente poco

sensible, y lo más importante, no es útil en una estrategia regional que adapte la economía, sociedad y medio ambiente a este cambio. En este artículo se presentan los resultados obtenidos tras aplicar el proyecto denominado “*Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía (ELCCA) actualizados al 4º Informe del IPCC*” para conocer los efectos que previsiblemente pueda tener éste, sobre el paisaje de Andalucía. El objetivo último es hacer más cercano al ciudadano las consecuencias del Cambio Climático, para lo que se usa el paisaje como medio inductor, transmitiendo la información del cambio mediante una sensación. ¿Y por qué usamos el paisaje con este fin?, el paisaje es precisamente sensación, es el modo de percibir el territorio, y en última instancia el objetivo de este estudio es trasladar los resultados de un trabajo científico al punto de vista del ciudadano.

Andalucía es una región de paisajes ricos y diversos gracias, entre otros motivos, a la variedad climática de su territorio, donde el carácter mediterráneo siempre está presente. Ya sea el lugar más frío y seco o el más templado y húmedo, los paisajes andaluces se zambullen en un periodo crítico de varios meses cálidos y secos. Por otra parte, la complejidad de su relieve en un enclave situado entre dos mares muy distintos, como son el Mediterráneo y Atlántico, le confieren una complejidad climática única, sólo comparable al Norte de Marruecos. Así, el clima Mediterráneo en Andalucía ha sabido imitar las combinaciones más sorprendentes y variopintas de muchos de los climas del planeta con el matiz mediterráneo, impregnado de un peculiar carácter a sus paisajes y paisanos.



Fig. 2. Representación de los efectos futuros del Cambio Climático en un paisaje característico donde actualmente habita el Pinsapo (*Abies pinsapo Boiss*). Sierra de las Nieves (Málaga).

En este texto se expone una visión del clima probable de Andalucía durante el presente siglo desde un punto de vista integral, analizando la evolución espacial previsible de los grupos bioclimáticos actuales y la repercusión que dichos cambios tendrán sobre el paisaje. La clasificación bioclimática realizada en este proyecto permite conocer la distribución de los bioclimas más importantes de Andalucía, según una serie de criterios objetivos, basados en variables del clima de las que dependen ecosistemas y cultivos. Dado que es posible proyectar dichas variables a lo largo del presente siglo, también podemos conocer cómo evoluciona la distribución de dicha clasificación hasta el año 2100. Con el fin de percibir la situación climática de partida, a continuación son descritos los bioclimas representados en Andalucía en el periodo de referencia 1961-2000, para posteriormente describir la evolución futura de éstos a lo largo del siglo XXI (figura 2).

2. El clima a finales del siglo XX

La figura 3 representa una clasificación de 6 grupos climáticos para toda Andalucía, como la agrupación de 15 clases bioclimáticas obtenidas (Apéndice A figura 1) mediante el uso de un algoritmo de clasificación no supervisado de cinco variables bioclimáticas continuas: DF o *disponibilidad neta anual de tiempo para la función fotosintética*, TMMF o *temperatura media del mes más frío*, *temperatura media del mes más cálido* o TMMC, *número de días de helada* NDF y *número de días de calor* NDC. Este coctel de variables no es casual, sino que representa dos principios básicos en ecología, la “*producción primaria*” y el principio de “*Liebig o factor limitante*” (Margalef, R., 1991). La clasificación obtenida tiene una correspondencia clara con los grandes grupos de bioclimas de Andalucía, perteneciendo cada clase a un recinto o habitáculo en el espacio, definido por estas cinco variables, y que delimita las posibilidades de desarrollo de un ecosistema o cultivo, sin considerar las limitaciones edafológicas.

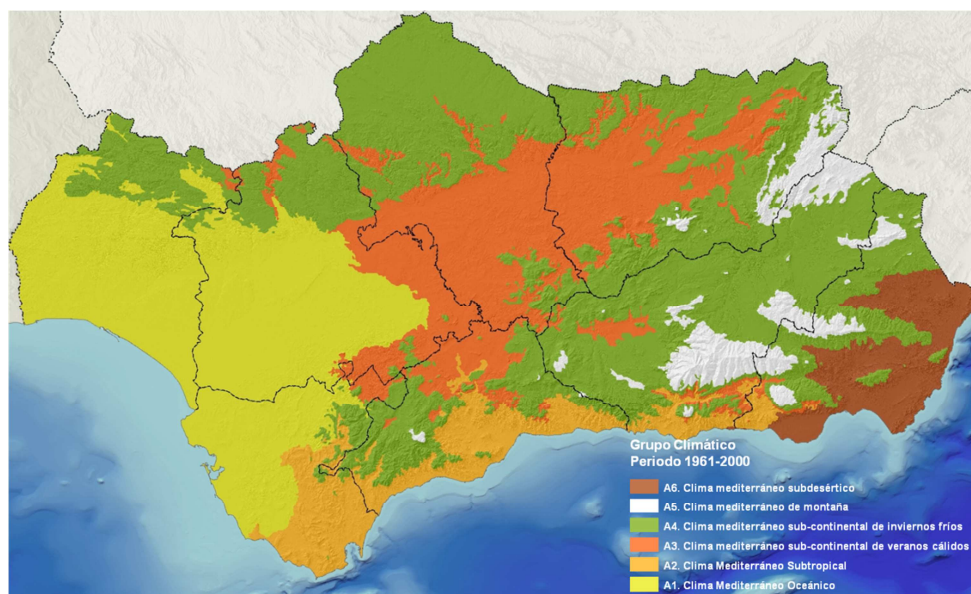


Fig. 3. Clasificación bioclimática de Andalucía para el periodo 1961-2000.

Los grupos climáticos en los que se agrupan son descritos a continuación:

A1. Clima Mediterráneo Oceánico. Se da en toda la región de influencia Atlántica, que suaviza las temperaturas y aporta una humedad notable a la región (figura 4 a).

A2. Clima Mediterráneo Subtropical. Propio de la costa mediterránea, se caracteriza por las temperaturas suaves y ausencia de heladas (figura 4 b).

A3. Clima mediterráneo sub-continental de veranos cálidos. Se caracteriza por presentar temperaturas medias anuales elevadas, veranos muy cálidos e inviernos frescos y con heladas ocasionales (figura 5 a).

A4. Clima mediterráneo sub-continental de inviernos fríos. Sus veranos son cálidos, aunque no tanto como en A3, y los inviernos muy fríos, con un alto número de heladas (figura 5 b).

A5. Clima mediterráneo de montaña. Se caracteriza por presentar inviernos muy fríos y largos, y veranos muy cortos y poco calurosos, donde buena parte de sus precipitaciones lo hace en forma de nieve (figura 6 a).

A6. Clima mediterráneo subdesértico. Se caracteriza por sus temperaturas suaves, ausencia de heladas y muy bajas precipitaciones (figura 6 b).



Fig. 4. (a) Grupo climático A1. Clima Mediterráneo Oceánico. Lora del Rio (Sevilla). (b) Grupo climático A2. Clima Mediterráneo Subtropical. Nerja (Málaga). Costa tropical.



Fig. 5. (a) Grupo climático A3. Clima mediterráneo sub-continental de veranos cálidos. Campiña de Córdoba. (b) Grupo climático A4. Clima mediterráneo sub-continental de inviernos fríos. Sierra de Quesada (Jaén).



Fig. 6. (a) Grupo climático A5. Clima mediterráneo de montaña. Alcazaba, Sierra Nevada (Granada). (b) Grupo climático A6. Clima mediterráneo subdesértico. Caldera de Majada Redonda, Cabo de Gata.

3. Evolución del clima en el siglo XXI

El clima del futuro cercano (a 100 años vista) se construye mediante los denominados Modelos de Circulación General (MCGs), que son potentes simuladores meteorológicos que reproducen a nivel global las condiciones más importantes del clima. Cada MCG es ejecutado y alimentado con la evolución de la

concentración de gases de efecto invernadero (GEI) prevista en los denominados escenarios económicos mundiales. El resultado es un abanico de escenarios que escudriña el futuro del clima, acotando las posibilidades de cambio más probables. Estos resultados se materializan en un conjunto de datos temporales de baja resolución espacial, cuya aplicación a escala local requiere el uso de los denominados métodos de “downscaling”. Para el caso concreto de Andalucía, la determinación los escenarios climáticos locales se ha efectuado mediante técnicas de “downscaling estadístico”, utilizando para ello las series históricas de datos de las estaciones meteorológicas integradas en el sistema de CLIMA (Climatología Ambiental de Andalucía) de la REDIAM.

Para predecir el clima del siglo XXI en el proyecto *Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía* (ELCCA), se han generado simulaciones futuras para 4 clases de MCGs (BCM2, EGMAM, CNCM3, ECHAM5), en 3 escenarios de emisiones (A2, A1B y B1) y el escenario de referencia único de partida, o clima del pasado (1961-2000). Esta simulación ha dado lugar en un proceso escalonado, a multitud de variables climáticas y bioclimáticas, idoneidad de especies forestales, clasificaciones bioclimáticas, y así una considerable cantidad de información con distribución espacial a escala de semidetalle (200 metros de resolución).

La *tabla 1* recoge los resultados agregados para toda Andalucía según los diferentes modelos y escenarios estudiados en los distintos periodos climáticos. Como puede apreciarse arroja un rango máximo de aumento entre los 3,9 °C para el MCG CNCM3 y escenario A2, y los 1,6 °C que predicen los MCG BCM2 y EGMAM en el escenario B1. Mientras que respecto de la precipitación puede apreciarse una disminución generalizada de las lluvias en todos los modelos y escenarios, cuyo máximo por modelo coincidente con frecuencia en el escenario A2.

Tabla 1. Promedio de la temperatura y precipitación anual por MCG, escenario y periodo climático para la totalidad de Andalucía.

Modelo	Escenario	Temperatura Anual (°C)				Diferencia	Precipitación Anual (mm)				
		1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99		1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia
CNCM3	A1b	17,0	18,4	19,2	3,2		573	494	478	-111	-18,9%
	A2	16,9	18,2	19,9	3,9		564	476	477	-112	-19,0%
	B1	17,1	17,5	18,1	2,1		524	538	497	-92	-15,6%
BCM2	A1b	16,5	17,5	18,4	2,4		537	484	450	-139	-23,6%
	A2	16,7	17,3	18,9	2,9		524	469	432	-157	-26,6%
	B1	16,6	17,0	17,6	1,6		549	471	501	-88	-14,9%
ECHAM5	A1b	16,0	16,8	18,2	3,5	589	545	482	484	-105	-17,8%
	A2	16,7	17,9	19,7	3,6		506	517	442	-147	-24,9%
	B1	16,7	17,2	18,3	2,3		552	524	492	-97	-16,4%
EGMAM	A1b	16,7	17,6	18,7	2,7		520	511	483	-105	-17,9%
	A2	16,7	17,8	19,2	3,2		510	481	508	-81	-13,7%
	B1	16,5	17,2	17,6	1,6		565	517	504	-85	-14,4%

En el caso del estudio de la evolución de los grupos climáticos de Andalucía en el siglo XXI se utilizará una sola línea de argumental, para lo que se ha escogido la combinación CNCM3 A1b, por entender que se trata de una opción intermedia y representativa del rango de posibles. No obstante, la información aportada en los ELCCA permite levantar y analizar todas las situaciones consideradas.

Para analizar lo expuesto, previamente es importante aclarar que las proyecciones de los grupos climáticos pueden tener comportamientos extraños, debido a que la proyección futura parte de una clasificación climática ajustada a la realidad actual, que no tiene por qué mantenerse en el futuro, ya que pueden aparecer nuevos climas definidos por otros parámetros (invasión de climas de norteafricanos, por ejemplo) o la

desaparición de otros, debido a que la proyección de clasificación se realiza por una relación de parentesco y no de equivalencia. La *figura 7* recoge gráficamente la evolución de los grupos climáticos según la combinación CNCM3 A1b.

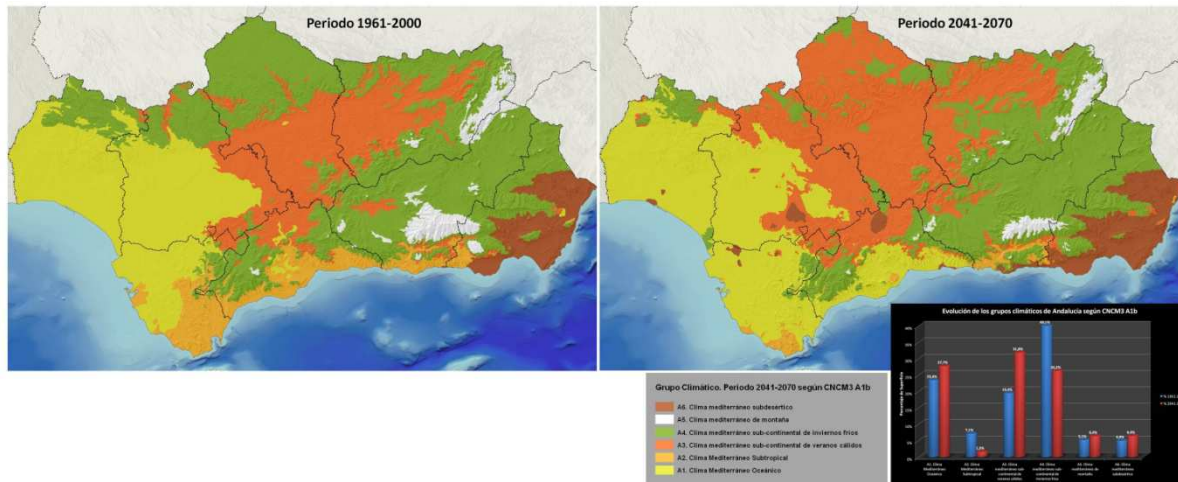


Fig. 7. Evolución de los grandes grupos climáticos entre los periodos 1961-2000 y 2041-2070, según CNCM3 A1b.

Como se puede observar, el gran favorecido por el Cambio Climático es el grupo climático A3, o clima mediterráneo subcontinental de veranos cálidos, que actualmente ocupa la parte alta del Valle del Guadalquivir. Según esta prospectiva, A3 invadirá progresivamente la cabecera de la cuenca del Guadalquivir, actualmente ocupada por el grupo climático A4, o clima mediterráneo subcontinental de inviernos fríos, aumentando del 19,4% de la superficie actual de Andalucía, al 31,8%. En apariencia otro clima favorecido es el A1, o clima mediterráneo Oceánico, que pasa del 23,5% al 27,5% a costa sobre todo de A2, o clima mediterráneo Subtropical, que disminuye en 6 puntos hasta casi desaparecer. Sin embargo, esta invasión se debe fundamentalmente al aumento que va a experimentar el número de días de calor, factor que diferencia a uno del otro. Por otro lado, el grupo climático más perjudicado es el A4, que pasa del 41,5% al 30,8%. Como se ha visto, este clima será reemplazado en buena parte por el A3, sin que su retirada hacia zonas más altas ocupadas por A5, o clima mediterráneo de montaña, atenúe este retroceso en superficie. Como cabría esperar el grupo climático A5 o clima Mediterráneo de Montaña, disminuye drásticamente, sin posibilidades de desplazamiento, a costa del A4. Finalmente el grupo climático A6, o clima mediterráneo subdesértico, crece menos de lo que se cabría esperar. Este crecimiento tiene lugar fundamentalmente en la periferia de la extensión original, aunque también llama la atención la aparición de enclaves alejados en Andalucía Occidental.

4. Efectos del Cambio Climático sobre el paisaje

Los efectos del cambio climático sobre el paisaje pueden estudiarse de una manera analítica, mediante la estimación de los efectos previstos sobre cada uno de los elementos que lo constituyen, por ejemplo sobre un elemento florístico importante del paisaje, o de forma integral, mediante el estudio de la evolución de la unidad bioclimática a la que pertenece dicho paisaje.

El clima es uno de los factores más influyentes en el modelado del paisaje. Aunque su relación no es directa, la climatología general, y el microclima en particular de un lugar, son responsables inmediatos del

hábitat de las especies vegetales que conforman el paisaje, influyendo en el propio modelado del relieve, propiedades del suelo y papel del hombre en el territorio.

Los grupos climáticos de Andalucía descritos en el punto 2, son la agregación de un conjunto de 15 unidades bioclimáticas (*figura 8* y *Apéndice A*) obtenidas mediante la clasificación de cinco variables climáticas y bioclimáticas relacionadas con la producción primaria y factores limitantes de un ecosistema o cultivo. Para el caso de la productividad se ha usado como variable el factor DF (horas anuales), equivalente al número de horas anuales donde la fotosíntesis es viable, es decir, la planta dispone de luz, agua (*balance hídrico* > 0) y la temperatura se encuentra entre los 7.5°C y 45°C.

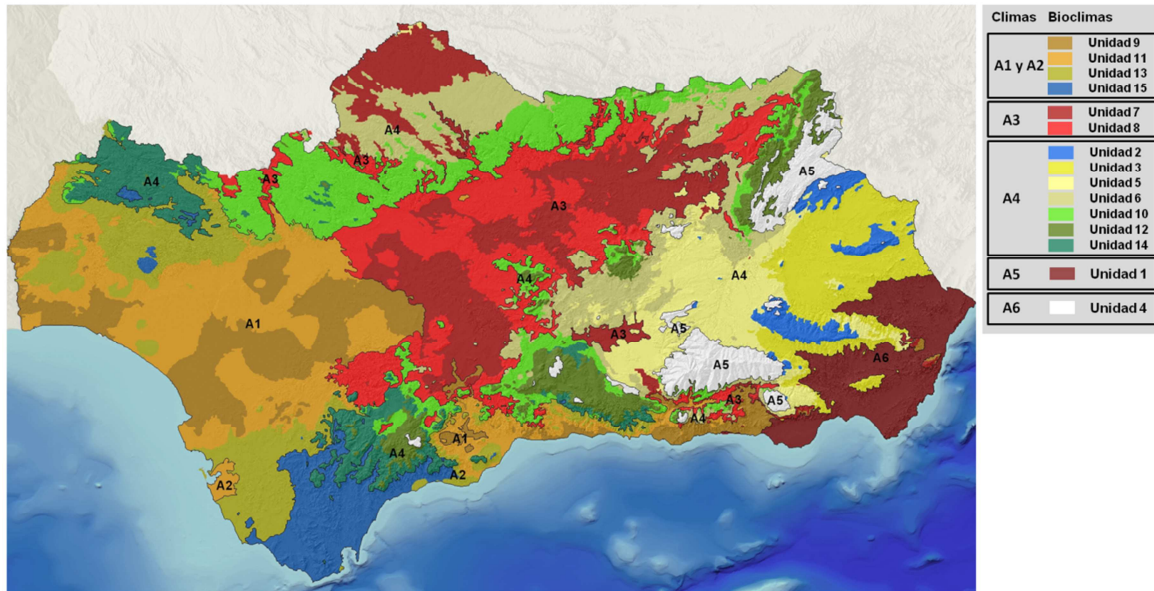


Fig. 8. Grupos Climáticos y Bioclimas de Andalucía.

El paisaje manifiesta un claro eco con las unidades de esta clasificación bioclimática. Cada unidad tiene asociada una serie de paisajes característicos. La transformación del clima de un paraje determinado pone en crisis el sistema que representa, forzando la exclusión de elementos presentes y habilitando huecos a potenciales. La adaptación será la clave de los elementos con posibilidades de resistir. Esto crea una situación transitoria en el paisaje caracterizada por elementos que se resisten a marchar (elementos arbóreos y usos, fundamentalmente), y vacíos no explotados, a la espera de que una especie o uso apropiado, si es que existen, los rellene. En el caso del paisaje Andaluz la pérdida de productividad (capacidad de producción primaria de la vegetación) generalizada orquestará este proceso. La *figura 9* diferencia los lugares donde se perderá productividad de los que quedan estables o los que ganan (áreas de montaña principalmente).

Cada deslocalización climática representará una tendencia del paisaje cuya situación intermedia vendrá representada por el sistema en crisis descrito anteriormente. Uno de los productos más importantes de este trabajo consiste en la recreación gráfica de los paisajes en transformación, que se materializa en una base de datos y un visor cartográfico de paisajes distribuidos por toda Andalucía, donde se muestra el antes y después de cada paraje, y una descripción de las fuerzas motrices que han originado dicha transformación. Las *figuras 10* y *11* son dos ejemplos representativos de este producto. También se muestra en este trabajo la importancia de la gestión adaptativa al Cambio Climático.

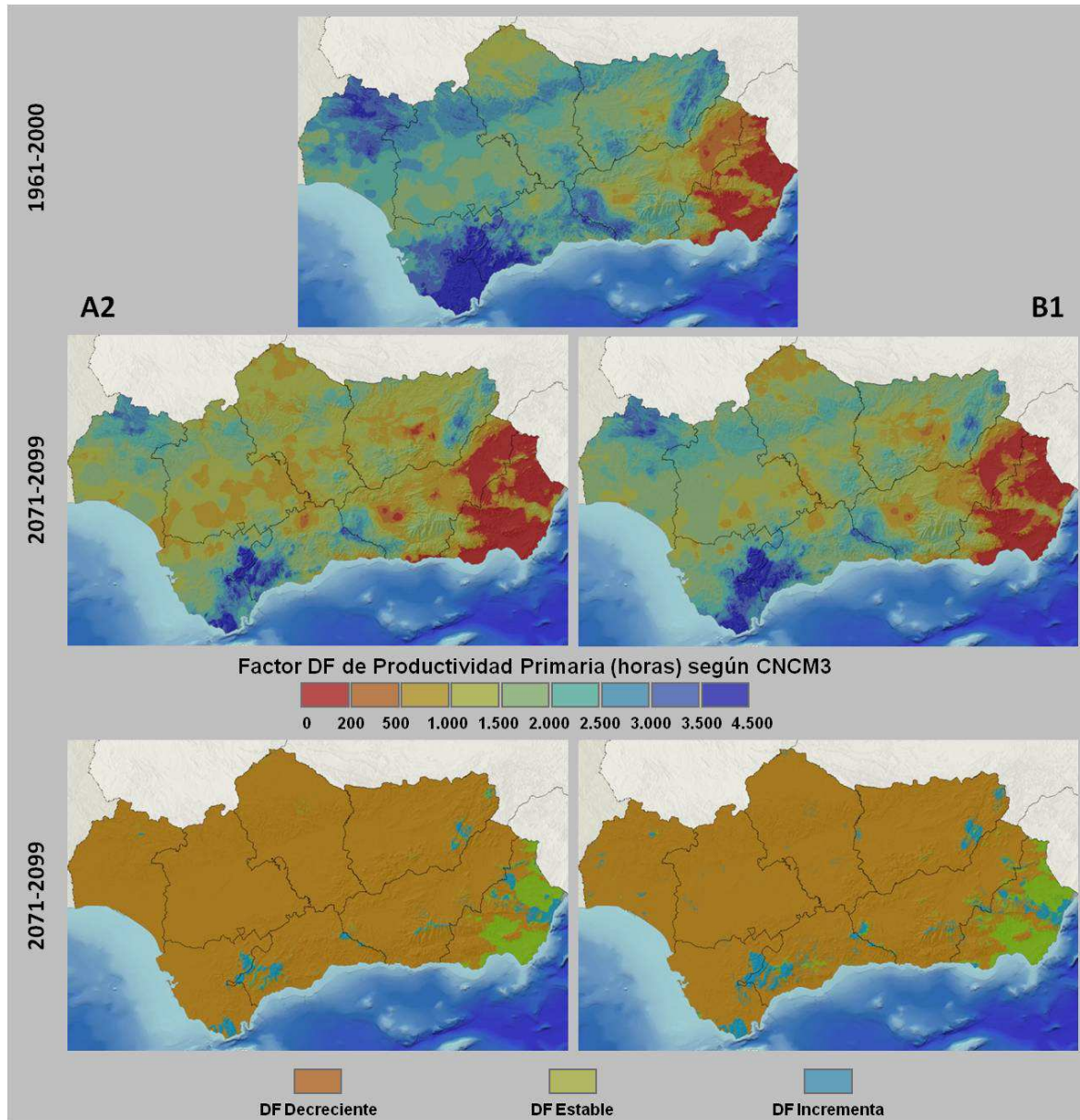


Fig. 9. Evolución del factor DF según CNM3, para los escenarios A2 y B1, desde el periodo de referencia 1961-2000. Zonificación de Andalucía según pérdida de potencialidad productiva primaria.

5. Conclusiones

La nueva configuración climática y paisajística del presente siglo, estará caracterizada por la proliferación de la clase climática mediterránea subcontinental de veranos cálidos, que actualmente ocupa la parte alta del Valle del Guadalquivir. El clima mediterráneo subcontinental de inviernos fríos, actualmente el más extenso, pasará a un segundo plano, llegando a quedar como relíctico en zonas como Sierra Morena. La costa mediterránea experimentará un importante incremento de días de calor, propio de la zona de influencia atlántica de interior, mientras que el incremento de la aridez será la tónica general en el resto de grupos. El clima de montaña quedará reducido a las zonas más altas de Andalucía arrinconado por el clima subcontinental de inviernos fríos. El carácter mediterráneo del clima andaluz se acentuará tanto en su amplitud (meses secos y cálidos del año) como profundidad (magnitud de la aridez). Esta aridez se irá extendiendo desde las unidades bioclimáticas más secas y cálidas, ocupando el lugar de los enclaves frescos y húmedos, llegándose a producir una simplificación de la diversidad climática de Andalucía. En este contexto, es de esperar que los microclimas que compensen la aridez constituyan importantes refugios para la biodiversidad.



Fecha 06/04/2013

CNCM3 A2. Fecha 06/04/2060

Fig. 10. Dehesa de Encinas de Sierra Morena de Córdoba sobre grupo climático A4 y bioclina 10, bajo condiciones de cambio climático CNCM3 A2, y sin gestión adaptativa.



Fecha 15/12/2012

CNCM3 A1b. Fecha 15/12/2060

Fig. 11. Meseta de los Quejigos de Sierra de las Nieves, sobre grupo climático A5 y bioclina 4, bajo condiciones de cambio climático CNCM3 A1b, y con gestión adaptativa.

El cambio climático tendrá efectos contrapuestos sobre la productividad primaria. Sin embargo, su merma será la tónica generalizada, quedando estable en algunas zonas como el este de Almería y aumentando en zonas de alta montaña. La precipitación en forma de nieve disminuye en todas las zonas de media y alta montaña, desapareciendo en muchas de ellas a finales de siglo.

Este cambio dará lugar a una situación transitoria e inestable en los paisajes andaluces. Dada su rapidez, en menos de una generación para muchas especies arbóreas, las situaciones temporales serán la tónica de muchos paisajes, donde la gestión adaptativa será fundamental para minimizar los impactos. Para el caso de los cultivos, y en función de las disponibilidades de riego, se abrirán nuevas oportunidades para otras especies poco conocidas en Andalucía.

Finalmente, los incendios forestales serán otro factor a tener en cuenta en esta transformación, favorecidos por el aumento de la temperatura y disminución de la humedad relativa, por un lado, y disminución de la producción de la biomasa por otro, como contrapunto. Sin embargo, en esta situación intermedia, el stock de biomasa acumulado representará una carga de combustibles muertos más elevado de lo usual.

La transformación del paisaje mediante la acción directa ha sido hasta el momento un distintivo del hombre moderno. Si asumimos estas previsiones, nos encontraremos ante el nacimiento de una nueva relación del hombre con su entorno. A la inversa, el paisaje como concepto inmediato, natural y asimilable por el hombre, se transforma en un potente instrumento para acercar al ciudadano al etéreo discurso sobre el cambio climático. Si cambian el paisaje de un país, cambiará la seña de identidad de sus ciudadanos.

Como contrapartida a este discurso pesimista, es importante decir que desde su emerger en los tiempos y a la hora de modelar un paisaje, la vida se ha caracterizado por un estilo artístico claramente definido por el "horror vacui" o "pánico al vacío". Cada forma de vida es un especialista en ello y la biodiversidad un ejército incontenible. Conocer esta fuerza obsesiva por colmar el territorio será básico para el control del cambio.

Agradecimientos

José C. Negrín Ormaetxea NE.O_LABSTUDIO arquitectura, urbanismo y paisajismo.

Life+ bioDehesa. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio y Agencia de Medio Ambiente y Agua. Junta de Andalucía.

Rafael Porras Alonso, BIOGEOS, ESTUDIOS AMBIENTALES, S.L. Parque Científico Tecnológico de Córdoba. Edificio Centauro

BCM2. Bjerknes Centre for Climate Research de Noruega

CNRM-CM3. Centre National de Recherches Meteorologiques de Francia

CGCM2. Canadian Centre for Climate Modelling and Análisis de Canadá

ECHAM5-MPI-OM. Max-Planck-Institut für Meteorologie de Alemania

EGMAM. Institute for Meteorology, Freie Universität Berlin de Alemania

Referencias

J. M. Moreira, M. Rodríguez, F. Zoido, C. Moniz, C. Venegas y J. Rodríguez (2005): Atlas de Andalucía. Tomo II, Consejerías de Medio Ambiente y Obras Públicas y Transportes de la Junta de Andalucía.

- VV.AA. (2012): Paisaje, IMA 2011. Informe de Medio Ambiente en Andalucía, pp. 90-111, Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- VV.AA. (2012): El reto de la gestión del paisaje en Andalucía, IMA 2011. Informe de Medio Ambiente en Andalucía, pp. 90-111, Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
- VV.AA. (2013): Paisaje, IMAs 2012 – 2011- 2010- 2009- 2008. Informe de Medio Ambiente en Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía.
- Borén, R., J. Ribalaygua y L. Balairón (1995) Método analógico de simulación de escenarios climáticos a escala comarcal. Informe N° 4. Servicio de Análisis e Investigación del Clima, Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.
- Brunet, M.; Casado, M.J.; Castro, M.; Galán, P.; López, J.A.; Martín, J.M.; Pastor, A.; Petisco, E.; Ramos, P.; Ribalaygua, J.; Rodríguez, E.; Sanz, I.; Torres, L., (2008). Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Agencia Estatal de Meteorología. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). Todos sus informes están disponibles en <http://www.ipcc.ch/index.htm>
- El Clima de Andalucía en el Siglo XXI (2014). Red de Información Ambiental de Andalucía. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. Junta de Andalucía.
- Margalef, R. (1991). Ecología. Editorial Omega. Barcelona.

Apéndice A. Unidades Bioclimáticas de Andalucía

La tipificación bioclimática de este trabajo, se ha realizado con un algoritmo de clasificación no supervisado ISODATA, basado en la agrupación por clases naturales de los datos en un espacio multidimensional, constituido por las variables continuas obtenidas durante el procedimiento de “*downscaling estadístico*” elaborado en los ELCCA:

- a. *Disponibilidad neta anual de tiempo para la función fotosintética* (DF) (horas): Horas de viabilidad climática para la fotosíntesis.
- b. *Temperatura media del mes más frío* (TMMF) (°C): Media de la temperatura del mes que arroja la mínima temperatura media.
- c. *Temperatura media del mes más cálido* (TMMC) (°C): Media de la temperatura del mes que arroja la máxima temperatura media.
- d. *Número de días de helada* (NDF) (días): Número de días al año donde la temperatura mínima es menor o igual a 0 °C.
- e. *Número de días de calor* (NDC) (días): Número de días al año donde la temperatura máxima es mayor o igual a 35 °C.

El algoritmo ISODATA realiza el reconocimiento no supervisado de un conjunto de variables continuas, en un proceso iterativo de reagrupamiento donde el número de clases es conocido, y basado en la distancia euclídea entre vectores de datos. La clasificación se realiza en las condiciones climáticas actuales, y luego es proyectada al futuro sin modificar los grupos originales. La *tabla 1* facilita los valores medios de las variables usadas en la clasificación, así como otras que sirven de referencia para conocer las propiedades de la unidad bioclimática.

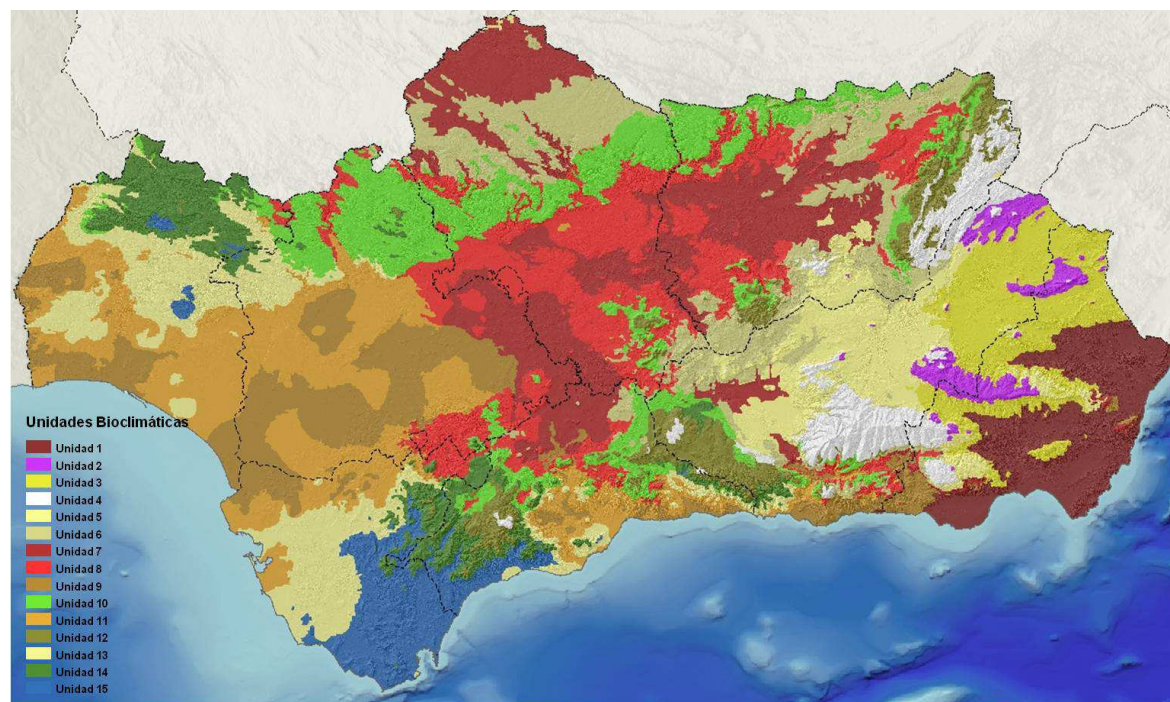


Fig. 1. Bioclimas de Andalucía para el periodo 1961-2000.

A.1. Descripción de las unidades Bioclimáticas de Andalucía.

Unidad 1: Esta unidad se caracteriza por poseer la más baja DF (95 horas anuales) de toda Andalucía, a pesar de las temperaturas suaves (TMA de 17.6°C) y termicidad (rango térmico suave -15.4°C-), la escases de precipitaciones es un factor muy limitante para el desarrollo de vegetación (236 mm). Forma una gran unidad, muy agrupada y diferenciada del resto, y que se extiende por toda la zona almeriense con influencia oceánica (4.9% del territorio andaluz). Paisajes como el Desierto de Tabernas, o el Cabo de Gata (*figura 2 a*), son representativos de esta unidad. Es un clima, que salvo en lugares de hábitat compensado (ramblas de taraje), no puede mantener vegetación arbórea.



Fig. 2. (a) Unidad bioclimática 1. Caldera de Majada Redonda, Cabo de Gata. (b) Unidad bioclimática 2. Vértice Pareja en Sierra Maria (Almería). Un promontorio calizo sobre el altiplano granadino, configurado por sabinares, enebrales y pinares de carrasco y laricio.

Unidad 2: Con una DF más alta que la unidad 1 y 3 (756 horas anuales), esta clase se caracteriza por sus bajas temperaturas y alto rango térmico. Se trata de paisajes de media montaña emergentes del altiplano de Baza y Huéscar, secos (455 mm), fríos (TMA 11.2°C) y alta oscilación térmica (17.3°C), como Sierra de Filabres, Sierra Maria (*figura 2 b*) o las partes más bajas de la Sierra de la Sagra (1.5% de Andalucía). Puede mantener formaciones arbóreas gracias a su ETo compensada por las bajas temperaturas, del tipo aciculifolias xerofitas de poca talla, como sabinas y enebros, o bosques más maduros de pino negro y carrasco donde las condiciones son mejores.



Fig. 3. (a) Unidad bioclimática 3. Encinares relictos de monte bajo de Sierra Alhamilla (Almería). El paisaje habitual de esta zona está constituido por formaciones arbustivas de porte medio, con algún elemento arbóreo de poco porte. (b) Unidad bioclimática 4. Los espectaculares Paisajes de Castril (Granada) se enmarcan casi en su totalidad en la unidad bioclimática 4.

Unidad 3: Con una DF más alta que la unidad 1 (446 horas anuales), se trata de una variante más moderada que la unidad 2, en lo que a temperaturas se refiere (TMA 13.7°C), pero con menos capacidad para mantener vegetación arbórea y leñosa (334 mm anuales de precipitación). Son mesetas esteparias, o bases de áreas montañosas, como la Hoya de Baza, complementarias a la unidad 2, con la que se mezcla (5.23% de Andalucía). También podemos encontrar ésta unida bioclimática en áreas más próximas al Mar Mediterráneo, ocupando partes altas de las montañas, como Sierra Alhamilla (*figura 3 a*).



Fig. 4. (a) Unidad bioclimática 4. Bosque Atlántico relicto de la Dehesa del Camarate (Sierra Nevada). Entre bosque esclerófilos de encina y al límite de su estación forestal, los arces, quejigos y melojos se quedan con los hábitats mas compensados como fondos de valle y umbrías. (b) Unidad bioclimática 5. Abrucena, en la falda norte de Sierra Nevada.

Unidad 4: Son regiones muy frías (TMMF 3.4°C, el más bajo de todos), y alto contraste térmico (TMMC 17.7°C), pero con un DF moderado de 1946 horas, fundamentalmente debido a sus altas precipitaciones. Se trata paisajes de media y alta montaña, relativamente lluviosos (807 mm anuales), o al menos no tan secos como la unidad 2 (455 mm). Dentro de este existe una alta variabilidad, hasta tal punto que permite desde asentamiento de bosques caducifolios o aciculifolios de media montaña (Dehesa del Camarate, *figura 4 a*), hasta zonas yermas de vegetación (Alta Montaña de Sierra Nevada). Sin embargo, la sequia estival continua siendo un gran limitante para la calidad y expansión de dichos bosques, solo compensado por las temperaturas frescas veraniegas. Esta unidad aparece fundamentalmente en Andalucía Oriental (Sierra Nevada casi en su totalidad, y partes altas de Sierra de Cazorla, Segura y las Villas, Sierra de Castril (*figura 3 b*), Sierra Magina, Sierra de Huetor, Sierra de Gador, Sierra de Baza, Sierra de Loja, cumbres de Sierra de Lujar y Maroma), mientras que Andalucía Occidental solo aparece en las partes altas de Sierra de las Nieves (3.5% de Andalucía).

Unidad 5: Variante menos seca que la unidad 3 (470 mm anuales), aunque con contrastes más fuertes de temperatura (17.7°C) (DF de 1269 horas anuales). Es el complementario más seco y bajo de la unidad 4, análogo a la dualidad de las unidades 3 y 2. Se localiza por tanto bajo las zonas de media y alta montaña de la parte continental, rodeando a la unidad 4, no apareciendo en las faldas orientadas al Mediterráneo de Sierra Nevada, ni Andalucía oriental. Completa de esta forma la altiplanicie granadina. Son las faldas de Sierra Nevada (*figura 5 a*) y Sierra de Huetor, como Jerez del Marquesado o alrededores de Sierra Magina, llegando a penetrar en la Vega de Granada y Hoya de Baza como transición a la Sierra del Pozo y Castril (5.5% de Andalucía).

Unidad 6: Esta unidad bioclimática casi alcanza las 1897 horas de DF (588 mm de precipitación anual y 15.3°C de temperatura media anual), mientras que posee de los rangos térmicos mayores de Andalucía

(18.8°C, TMMC de 25.9 y TMMF de 7.1°C). Por tanto su carácter es poseer una potencialidad media-baja para la producción primaria, pero con grandes contrastes térmicos. En algunas ocasiones es capaz incluso de mantener bosque de latifolias como los melojares de Cardeña (*figura 5 a*). Este clima se localiza como una transición de las más zonas continentales de Andalucía Oriental a la Vega del Guadalquivir, y norte de la provincia de Córdoba, a la franja sur de Sierra Morena (8.5% de Andalucía).



Fig. 5. (a) Unidad bioclimática 6. Roble melojo (*Quercus pirenaica* Willd) Parque Natural de Cardeña y Montoro. (b) Unidad bioclimática 6. Faldas de la Sierra de Quesada. La unidad 6 sirve de transición entre paisajes montañosos y la parte oriental de la Vega del Guadalquivir.



Fig. 6. Unidad bioclimática 7. Dehesa de encinas en Hinojosa del Duque (Norte de Córdoba).

Unidad 7: Esta unidad es un piso inferior a la unidad 6, en lo que a mantener vegetación se refiere (1524 horas de DF). Con muchos contraste térmico (18.7°C, TMMC de 27.1 y TMMF de 8.4°C) al igual que la unidad 6, pero algo más cálida y seca (469 mm), y la que mayor número de días de calor (50.9 días), en algunas ocasiones se invierte altitudinalmente, en zonas como el norte de Córdoba, que aun siendo más altas, presentan menores precipitaciones. Se trata de la unidad bioclimática más severa y menos productiva (climáticamente hablando) del Valle del Guadalquivir, con una réplica más fría y seca en el norte de la provincia de Córdoba (*figura 6*), donde el número de días de frío es un limitante añadido para muchas especies (11.4% de Andalucía).

Unidad 8: Con 2112 horas de DF, gracias a su TMA de 16.7°C y precipitación anual de 578 mm, es un clima con mucho contraste térmico, y un alto número de días de calor, como el 7, del que se diferencia por ser algo más húmedo, y no tan tórrido. En cómputo global, se trata de la zona más productiva de la parte alta del Valle del Guadalquivir, con algunas replicas invertidas por los alrededores de Villanueva del Arzobispo, y algunas incursiones en los valles profundos de Sierra Morena (10.8% de Andalucía).

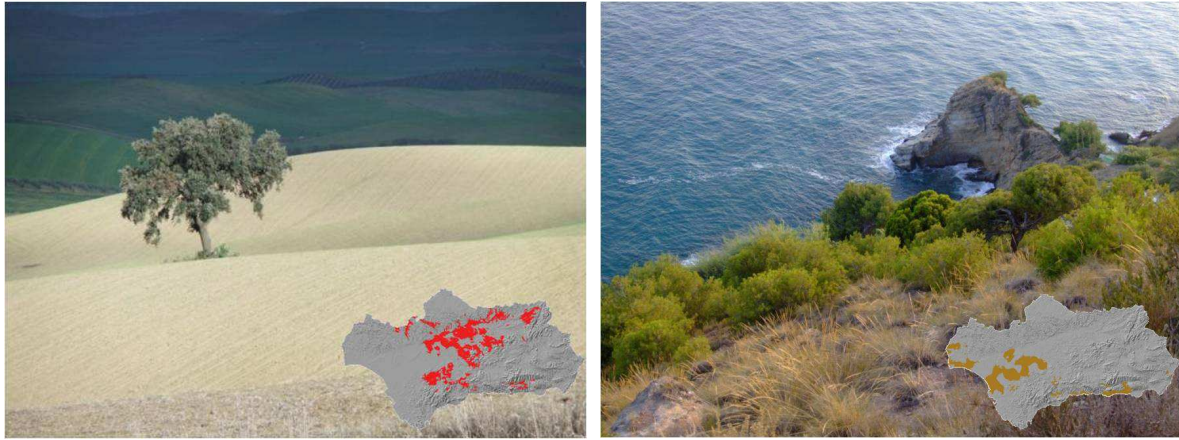


Fig. 7. (a) Unidad bioclimática. Unidad bioclimática 8. Campiña de Córdoba. (b) Unidad bioclimática 9. Nerja (Málaga). Costa tropical.

Unidad 9: Es la variante más térmica (15.6°C) y suave de la unidad bioclima 7, que igualándose en precipitación, es algo más productiva (1776 horas de DTPP) gracias a sus temperaturas medias más altas (17.9°C). Existe dos versiones de esta unidad bioclimática, en función de la influencia oceánica si es mediterránea (NDF < 2 y NDC < 10) y atlántica (NDF < 7 y NDC > 40), diferencia suficiente que le da el apelativo de “costa tropical” (8.0% de Andalucía, Imagen 18).



Fig. 8. Unidad bioclimática 10. Sierra Morena de Córdoba.

Unidad 10: Se trata de la versión húmeda de la unidad bioclimática 6. Muy semejante en casi todos los parámetros climáticos térmicos (algo más suave y unas mínimas más altas), los 708 mm de precipitación anual, le confiere una productividad de 2612 horas anuales. Con mucha dispersión, se localiza fundamentalmente en el primer frente o halo perimetral de la Vega del Guadalquivir, que suele recibir mayores precipitaciones por el efecto orográfico de los frentes montañosos. El frente de Sierra Morena de

Sevilla, Córdoba y Jaén se lleva la mayor parte de esta unidad bioclimática, y de manera más dispersa en las primeras faldas de sistemas montañosos como Sierra de Cazorla, Sierra Sur de Jaén, Subbéticas de Córdoba y Sierra de Loja, principalmente (9.5% de Andalucía).



Fig. 9. Unidad bioclimática 11. Lora del Río (Sevilla).

Unidad 11: Es la parte más productiva de la Vega del Guadalquivir (2260 horas de DF), más templado (17.8°C de TMA), térmico (15.8°C) y lluvioso (567 mm). Igual que la unidad 7, tiene una réplica de clima oceánico mediterráneo en la costa tropical de Málaga, donde apenas presenta días de frío, y los días de calor son mucho menores. La versión atlántica, se localiza mayoritariamente en el primer frente de la Vega del Guadalquivir de Huelva, Sevilla y algo en el oeste de Cádiz, penetrando por el Andevalo, al amparo de la influencia del Guadiana. Muy entremezclado con las unidades 9 (más seca) y 13 (mas húmeda) (11.2% de Andalucía).



Fig. 10. (a) Unidad bioclimática 12. Pinsapares de Sierra de las Nieves (Málaga). (b) Unidad bioclimática 14. Bosques de castaño de Sierra de Aracena.

Unidad 12: Con sus 2868 horas de DF, es una de las unidades climáticas más productivas. Es más fresca (13.0°C de TMA) y húmeda (905 mm) que la unidad 10, 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* Boiss, figura 10 a) y quejigales (*Quercus alpestris* Boiss) de

Grazalema y Sierra las Nieves, el anillo más boscoso de Sierra de Cazorla, Segura y las Villas, constituido por pinares de carrasco y negral (*Pinus halepensis* Mill. y *P. pinaster* Ait.) y Sierra Tejeda y Almirajara 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, cuando las condiciones de alta montaña empiezan a imponerse, por lo que suele mostrarse como un anillo alrededor de estas (3.6% de Andalucía).



Fig. 10. (a) Unidad bioclimática 13. Campiña gaditana. (b) Unidad bioclimática 15. Selva mediterránea del Parque Natural de los Alcornocales.

Unidad 13: Igual de productiva que la unidad 12 (2871 horas de DF), las temperaturas son más suaves (17.6°C de TMA), así como el rango térmico (15.3°C), lo que compensa la precipitación (660 mm), bastante menor que la unidad 12. Esta unidad se localiza fundamentalmente en el frente atlántico previo a las elevaciones montañosas de Sierra Morena (Andevalo) y Campiña Gaditana (figura 10 a). La versión mediterránea, más termófila aún, es de poca representatividad (Piedemonte de Sierra Bermeja y Sierra Tejeda y Almirajara) (7.5% de Andalucía).

Unidad 14: Con una productividad de 3370 horas de DF, es una versión termófila y suave de la unidad 12 (15.5°C de TMA, y un rango térmico de 16.1°C). Esta mayor productividad se debe a la suavidad de las temperaturas, siendo las precipitaciones prácticamente equivalentes. Es territorio de alcornoque (*Quercus suber* L.) y castaño (*Castanea sativa* Mill.) y lo suficientemente termófilo para albergar algarrobo (*Ceratonia siliqua* L.). Se extiende fundamentalmente por Aracena (figura 10 b), partes más interiores de Alcornocales, Ronda, Grazalema, Sierra Bermeja y sur de Sierra de Tejeda y Almirajara (4.6% de Andalucía).

Unidad 15: Es la unidad bioclimática más productiva de Andalucía (3801 horas de DF). En esta se dan las mejores condiciones para el crecimiento de la vegetación, con una temperatura media anual de 17.2°C, oscilación térmica de 15.1°C, precipitaciones de 944 mm de media anual, con muy pocos días de frío (2.7 días/año). En esta unidad se asientan la denominada selva mediterránea (Parque Natural de los Alcornocales, figura 10 b), constituida por bosques muy densos de alcornoque, con un amplio cortejo de especies termófilas de altos requerimientos hídricos. En la Sierra de Aracena y Sierra Tejeda y Almirajara, aparece también replicas semejantes de esta unidad bioclimática (3.6% de Andalucía).

Tabla 1. Unidades bioclimáticas de Andalucía y valor promedio de los parámetros climáticos usados para la clasificación: disponibilidad neta anual de tiempo para la función fotosintética (DF) (horas), temperatura media del mes más frío (TMMF) (°C), Temperatura media del mes más cálido (TMMC) (°C), número de días de helada (NDF) (días), número de días de calor (NDC) (días), temperatura media anual (T_MED) (°C) y precipitación anual (PRC) (mm).

UNIDAD	Superficie (ha)	%	DF (h)	TMMC (°C)	TMMF (°C)	T_MED (°C)	PRC (mm)	NDF (días)	NDC (días)
1	433.086	4,94%	95	26,2	10,8	17,6	236	8,2	17,7
2	134.092	1,53%	756	21,4	4,1	11,2	455	75,3	8,5
3	457.720	5,23%	446	23,4	6,4	13,7	334	49,0	16,8
4	313.600	3,58%	1946	20,5	3,4	10,4	807	84,9	6,8
5	482.821	5,51%	1269	23,9	6,3	13,9	470	42,8	21,3
6	745.682	8,51%	1897	25,9	7,1	15,3	588	27,9	40,9
7	1.004.205	11,47%	1524	27,1	8,4	16,8	469	17,2	50,9
8	952.338	10,87%	2112	26,7	8,5	16,7	578	17,4	47,5
9	707.237	8,08%	1776	26,3	10,6	17,9	489	6,1	38,2
10	840.076	9,59%	2612	25,5	7,6	15,5	708	24,4	40,3
11	985.222	11,25%	2260	26,3	10,5	17,8	567	7,0	40,0
12	316.431	3,61%	2868	22,7	5,7	13,0	905	46,8	13,5
13	658.290	7,52%	2871	25,9	10,6	17,6	660	5,7	33,6
14	404.122	4,61%	3370	24,5	8,4	15,5	928	13,9	23,2
15	323.356	3,69%	3801	24,9	10,9	17,2	944	2,7	12,2