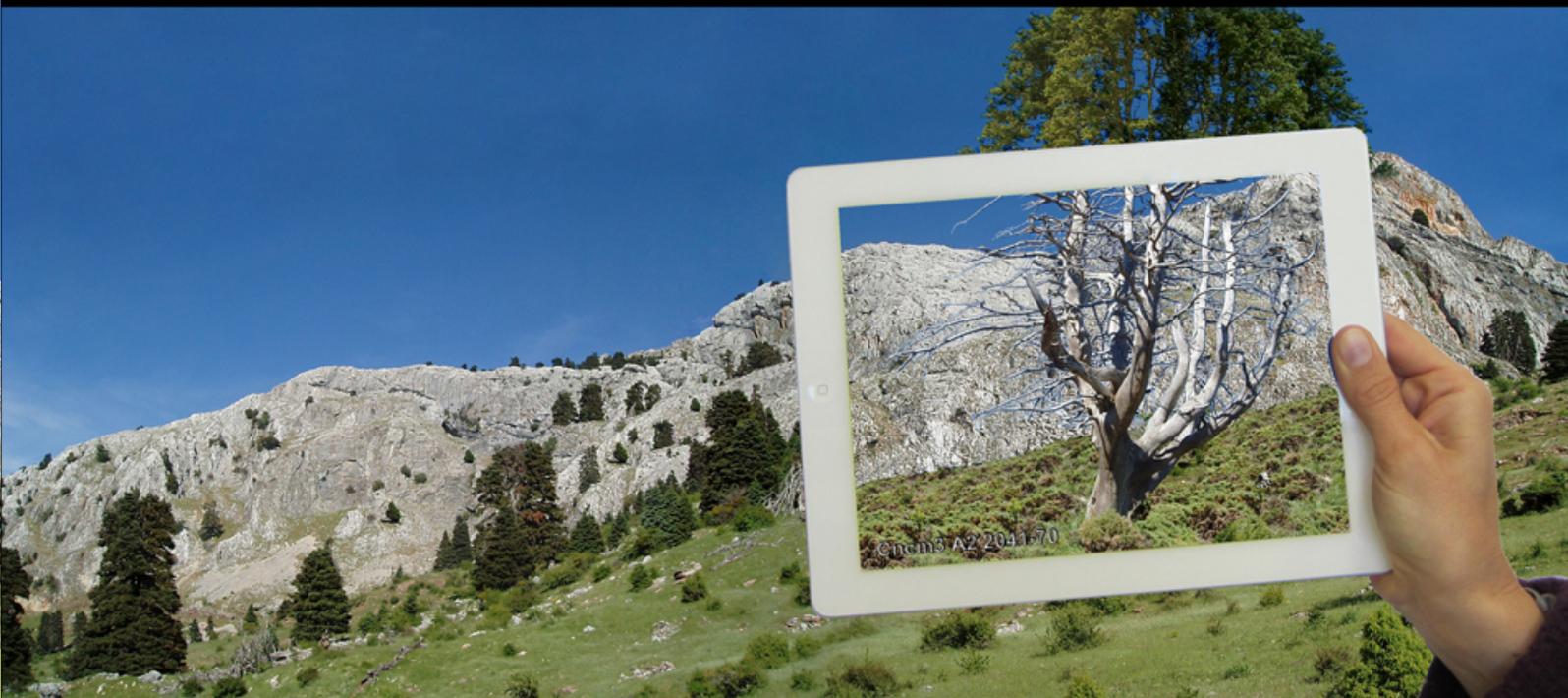


EL CLIMA DE ANDALUCÍA EN EL SIGLO XXI

ESCENARIOS LOCALES DE CAMBIO CLIMÁTICO
DE ANDALUCÍA

RESULTADOS



ACTUALIZACIÓN AL 4º INFORME DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL
DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC)

Marzo de 2014

Edita: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía

Es un producto de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM)

Los modelos de circulación general utilizados en este trabajo corresponden a los empleados por el IPCC en su 4º Informe de Evaluación del Cambio Climático.

Los cálculos con los modelos de circulación global y los procesos de downscaling de temperaturas y precipitaciones han sido desarrollados con la colaboración de la Fundación para la Investigación del Clima, asociada a la REDIAM.

El desarrollo de los modelos para la determinación del resto de variables y su cálculo ha corrido a cargo del equipo técnico de la REDIAM, así como el diseño, desarrollo y elaboración de los escenarios regionales de cambio climático en el marco de lo previsto en Programa de Andaluz de Adaptación Al Cambio Climático.

Impresión: 4tintas

Parte de la elaboración de este trabajo se ha desarrollado en el marco de los proyectos Adaptaclima I y Adaptaclima II, dentro de programa de cooperación territorial europea SUDOE, bajo la cofinanciación del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

www.juntadeandalucia.es/medioambiente

ÍNDICE

1. El Clima de Andalucía en el siglo XXI.....	3
1.1 El Clima a finales del siglo XX	3
1.2 Evolución del Clima en el siglo XXI.....	3
1.2.1 Resultados Generales.....	4
1.2.2 Evolución de los grupos Climáticos	7
1.2.3 Evolución de las variables climáticas	10

1. El Clima de Andalucía en el siglo XXI

Es difícil concebir una imagen de cómo afectará el Cambio Climático a nuestro entorno más cercano. La información que nos llega sobre éste es muy general, haciendo referencia a efectos globales sobre el planeta, localidades lejanas o efectos ambiguos cuyos impactos son difíciles de precisar. ¿Cómo afectará a nuestra vida cotidiana el incremento de 3°C de la temperatura media global del planeta Tierra?, ¿Y 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, es imposible usarla en una estrategia regional que adapte la economía, sociedad y medio ambiente a este cambio. En este artículo se presentan los resultados del estudio “Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía (ELCCA) actualizados al 4º Informe del IPCC”, un proyecto cuyo objetivo es hacer más cercano, a científicos, técnicos, políticos, administración y ciudadanos en general, los efectos esperados del Cambio Climático sobre la región andaluza.

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, solo 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.

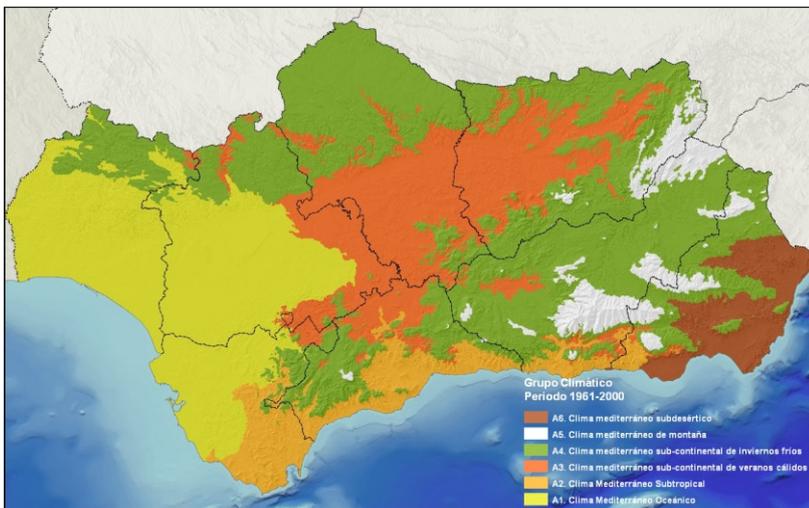


Figura 1. Clasificación bioclimática de Andalucía para el periodo 1961-2000.

Según la prospectiva aportada por el estudio denominado “Escenarios Locales de Cambio Climático de Andalucía actualizados al 4º Informe del IPCC” acometido por la REDIAM, el carácter singular del clima andaluz no va a cambiar ni mucho menos, sino todo lo contrario, el carácter mediterráneo 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 documento se expondrá una visión del clima probable de Andalucía durante el presente siglo, cambiante debido a la Cambio Climático Global, desde varios puntos de vista, y relacionados entre sí, uno integral, estudiando la evolución de la clasificación climática que hoy conocemos y el otro analizando los valores de las variables climáticas que lo caracterizan. 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 del clima 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 de éstos a lo largo del siglo XXI.

1.1 El Clima a finales del siglo XX

La figura 1 representa una clasificación de 6 grupos climáticos para toda Andalucía, como la agrupación de 15 clases bioclimáticas obtenidas, 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.” Como puede observarse, esta clasificación tiene una correspondencia clara con los grandes grupos de bioclimas de Andalucía, perteneciendo cada una de ellas a un recinto o habitáculo en el espacio definido por estas cinco variables, que delimita las posibilidades de crecimiento de un ecosistema o cultivo, sin limitaciones edafológicas. Los grupos climáticos en los que se agrupan son descritos a continuación:

A1. Clima Mediterráneo Oceánico: este clima se da en toda la región influenciada por la costa Atlántica Andaluza,

que suaviza las temperaturas y aporta una humedad notable a la región. Ascende por el Valle Bajo del Guadalquivir hasta transformarse en A3. Esta clase agrupa a cuatro unidades bioclimáticas, diferenciadas básicamente por la precipitación y grado de continentalidad.

A2. Clima Mediterráneo Subtropical: propio de la costa mediterránea, se caracteriza por las temperaturas suaves y ausencia de heladas. Las precipitaciones son variables, aumentando según se avanza hacia el oeste, o en altitud. Como en el caso de A1, agrupa a cuatro clases bioclimáticas en función de la precipitación y grado de continentalidad, de las que una de ellas constituye un enclave muy característico en la zona de influencia del Estrecho de Gibraltar, caracterizado por

sus elevadas precipitaciones. Es muy semejante a A1, distinguiéndose por su casi nulo número de días de frío, y bajo número de días de calor.



Figura 2. Grupo climático A1. Clima Mediterráneo Oceánico. Lora del Río (Sevilla). Autor: María Rosa Cordón Pedregosa



Figura 3. Grupo climático A2. Clima Mediterráneo Subtropical. Nerja (Málaga). Costa tropical.

Figura 4. Grupo climático A3. Clima mediterráneo sub-continental de veranos cálidos. Campiña de Córdoba. Autor: Juan José Guerrero Álvarez



A3. Clima mediterráneo sub-continental de veranos cálidos: se extiende por el Valle Medio del Guadalquivir. A modo de corona, se transforma en A4 cuando el carácter continental se hace más severo. Se caracteriza por presentar temperaturas medias anuales elevadas y por tener veranos muy cálidos. Los inviernos son frescos y con heladas ocasionales. Las precipitaciones presentan sus máximos en primavera y otoño. Esta clase se divide en dos unidades bioclimáticas diferenciadas por su mayor o menor precipitación y grado de continentalidad.

A4. Clima mediterráneo sub-continental de inviernos fríos: este clima es característico de casi toda la zona interior y

elevada que rodea al Valle del Guadalquivir, penetrando hacia Andalucía Oriental hasta la misma base de las cadenas montañosas donde deriva a A5. Sus veranos son cálidos, aunque no tanto como en A3, y los inviernos muy fríos, con un alto número de heladas. Este grupo climático está integrando por hasta 6 tipos diferentes de bioclimas con un amplio rango de precipitaciones.



Figura 5. Grupo climático A4. Clima mediterráneo sub-continental de inviernos fríos. Sierra de Quesada. Autor: Juan José Guerrero Álvarez.

A5. Clima mediterráneo de montaña: se da en todas las zonas de media y alta montaña de las Sierras que alcanzan los 2000 metros de altura. Se caracteriza por presentar inviernos muy fríos y largos, y veranos muy cortos y poco calurosos. Se trata de un grupo bioclimático de mucho carácter constituido por un solo bioclima, donde buena parte de sus precipitaciones lo hace en forma de nieve.



Figura 6. Grupo climático A5. Clima mediterráneo de montaña. Sierra de las Nieves (Málaga). Autor: Juan José Guerrero Álvarez.

A6. Clima mediterráneo subdesértico: este clima es característico de la zona con influencia costera del este de Andalucía. Se caracteriza por sus temperaturas suaves, ausencia de heladas y muy bajas precipitaciones. Es un clima con un carácter muy marcado, con una sola unidad bioclimática asociada.

Figura 7. Grupo climático A6. Clima mediterráneo subdesértico. Caldera de Majada Redonda, Cabo de Gata. Autor: Javier Hernández.



La *tabla nº 1* muestra el resumen de cada grupo climático, promedio de las variables que han servido para su clasificación, así como otras variables climáticas de referencia. Estos valores son puramente orientativos, ya que estos grupos climáticos integran bioclimas muy variables, sobre todo a lo que la precipitación se refiere.

1.2 Evolución del Clima en el siglo XXI

El clima del futuro cercano 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

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 continuación va a exponerse un análisis preliminar de las variables más sobresalientes agregadas para toda la región andaluza, para cada combinación de modelo y escenario (4x3+1=13). Posteriormente se procederá a realizar un análisis integral y local de los resultados obtenidos, orientando la dirección de las posibles repercusiones que el cambio climático tendrá en Andalucía en el presente siglo, según los grupos climáticos expuestos anteriormente y variables climáticas básicas por provincias.

Figura 8. Cultivo leñosos afectado por una inundación.



Tabla nº 1. Valores medios de las variables climáticas y bioclimáticas más importantes durante el periodo 1961-2000 para la distribución de grupos climáticos del mismo periodo (1961-2000).

Grupo Climático	Df (horas)	Temperaturas medias °C (Anual)							(mm)			Días de	
		Mes más cálido	Mes más frío	Mínima	Máxima	Media	Máximas del mes más cálido	Mínimas del mes más frío	Precipitación	Nieve	Eto	Frio	Calor
A1. Clima Mediterráneo Oceánico	2308	26,3	10,5	11,6	24,1	17,8	34,3	5,6	584	0	1034	6,6	41,7
A2. Clima Mediterráneo Subtropical	3009	25,0	11,0	12,7	21,9	17,2	30,5	7,1	719	0	863	3,8	10,9
A3. Clima mediterráneo sub-continental de veranos cálidos	1871	26,9	8,5	10,3	23,5	16,8	35,4	3,4	531	0	1023	16,5	49,7
A4. Clima mediterráneo sub-continental de inviernos fríos	1968	24,7	7,0	8,5	21,0	14,7	32,9	2,1	620	10	953	33,2	29,9
A5. Clima mediterráneo de montaña	1946	20,5	3,4	3,9	17,1	10,4	29,3	-1,7	807	365	877	84,9	6,8
A6. Clima mediterráneo subdesértico	95	26,2	10,8	12,3	23,0	17,6	32,1	5,9	236	0	947	8,2	17,7

en los denominados escenarios económicos mundiales. El resultado es un abanico de perspectivas 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, dichas base de datos son tratadas con los *“modelos de downscaling estadístico”* y las series históricas climáticas contenidas en la *Base de Datos del Subsistema Clima* 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

1.2.1 Resultados Generales

Comenzando por la *temperatura anual*, la *tabla nº 2* recoge los resultados 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.

		Temperatura Anual (°C). Tabla nº 2				
		Periodo Climático				
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia
CNCM3	A1b	16,0	17,0	18,4	19,2	3,2
	A2		16,9	18,2	19,9	3,9
	B1		17,1	17,5	18,1	2,1
BCM2	A1b		16,5	17,5	18,4	2,4
	A2		16,7	17,3	18,9	2,9
	B1		16,6	17,0	17,6	1,6
ECHAM5	A1b		16,8	18,2	19,6	3,5
	A2		16,7	17,9	19,7	3,6
	B1		16,7	17,2	18,3	2,3
EGMAM	A1b		16,7	17,6	18,7	2,7
	A2		16,7	17,8	19,2	3,2
	B1		16,5	17,2	17,6	1,6



Figura 9. Laguna Tajare (Cádiz). Autor: Javier Hernandez Gallardo.

Por otra parte, la *tabla nº 3* expone con la misma estructura, los resultados de la *precipitación anual* en mm. A diferencia de la temperatura, la precipitación es predicha con más margen de error durante la regionalización de los MCGs.

Efectivamente, la incertidumbre sobre el comportamiento de la precipitación ya es una herencia de los propios MCGs, ya que Andalucía es una región climática cercana al punto de inflexión limítrofe entre las zonas que van a aumentar las precipitaciones, de las que van a disminuir. Unos modelos la colocan en un lado y otros en el contrario. A esta incertidumbre, se suma la propia de los modelos de regionalización, y de hecho, en los escenarios de Cambio Climático en el 3º Informe del IPCC, el margen de incertidumbre era mayor que la propia variación de la precipitación prevista, lo que ya no ocurre en el 4º.

De esta forma, la actualización de los escenarios de Cambio Climático al 4º Informe del IPCC comienza a despejar la incertidumbre de si las precipitaciones aumentarán o no en Andalucía. En la tabla de precipitación anual puede apreciarse una disminución generalizada de las lluvias en todos los modelos y escenarios, cuyo máximo por modelo siempre coincide en el escenario A2, salvo en el EGMAM, arrojando la mayor variación en el modelo BCM2, precisamente el más optimista a la hora de predecir las temperaturas. De esta forma el modelo BCM2 y escenario A2, predice para la generalidad de Andalucía una disminución de más del 26,6% de la precipitación anual, mientras que en el polo opuesto y para el mismo escenario el MCG EGMAM estima dicha disminución en un 13,7%. En valores absolutos, esta variación se transforma en una disminución de 157 mm y 81 mm en el peor de los casos.

Figura 9. Laguna Tajare (Cádiz). Autor: Javier Hernandez Gallardo.

		Precipitación Media Anual (mm). Tabla nº 3					
		Periodo Climático					
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia	%
CNCM3	A1b	589	573	494	478	-111	-18,9%
	A2		564	476	477	-112	-19,0%
	B1		524	538	497	-92	-15,6%
BCM2	A1b		537	484	450	-139	-23,6%
	A2		524	469	432	-157	-26,6%
	B1		549	471	501	-88	-14,9%
ECHAM5	A1b		545	482	484	-105	-17,8%
	A2		506	517	442	-147	-24,9%
	B1		552	524	492	-97	-16,4%
EGMAM	A1b		520	511	483	-105	-17,9%
	A2		510	481	508	-81	-13,7%
	B1		565	517	504	-85	-14,4%

La *tabla nº 4* contiene en esta misma línea, los resultados de la *evapotranspiración de referencia (ET_o)* para toda Andalucía. La evapotranspiración de referencia es estimada a partir de un número considerable de variables climáticas y orográficas, de las que solo la temperatura y humedad relativas son proyectadas al futuro bajo condiciones de cambio climático. De esta manera, la insolación y el viento, aunque previsiblemente cambiantes, se asumen constantes a lo largo del tiempo. En definitiva, solo las condiciones cambiantes de

la temperatura van a influir sobre la ET_o.

La tabla nº 5 recoge para toda Andalucía la evolución

		ETo Media Anual (mm). Tabla nº 4						
		Periodo Climático						
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia	%	
CNCM3	A1b	976	1040	1099	1135	159	16,3%	
	A2		1032	1091	1168	192	19,6%	
	B1		1045	1062	1089	113	11,6%	
BCM2	A1b		1015	1059	1100	124	12,7%	
	A2		1024	1052	1121	145	14,9%	
	B1		1018	1042	1064	88	9,0%	
	A1b		1031	1089	1139	163	16,7%	
ECHAM5	A2		1027	1071	1147	171	17,5%	
	B1		1028	1046	1092	116	11,9%	
EGMAM	A1b		1031	1065	1111	135	13,8%	
	A2		1032	1074	1127	151	15,5%	
	B1		1021	1051	1065	89	9,1%	

de este parámetro bioclimático en función de los diferentes modelos y escenarios. Como puede observarse su valor disminuye en todas las proyecciones en un rango de 9,2 días (BCM2 A2) a 5,7 días (CNCM3 B1). Sin embargo, ésta es una variable climática, que analizada en toda Andalucía, se diluye en exceso, dada la heterogeneidad de su distribución y que su tope inferior (0 días) es muy frecuente en toda la zona de influencia costera, por lo que un análisis menos agregado puede dar lugar a conclusiones más interesantes.

		Número anual de días de frío (días). Tabla nº 5						
		Periodo Climático						
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia	%	
CNCM3	A1b	22,2	17,7	15,6	15,0	-7,2		
	A2		18,0	15,9	14,6	-7,6		
	B1		18,3	17,8	16,5	-5,7		
BCM2	A1b		16,9	15,1	14,2	-8,0		
	A2		18,1	15,7	12,7	-9,6		
	B1		16,4	16,3	15,6	-6,7		
	A1b		19,8	16,5	14,0	-8,3		
ECHAM5	A2		20,0	16,2	14,4	-7,9		
	B1		19,5	18,0	16,2	-6,0		
EGMAM	A1b		17,5	15,4	13,7	-8,5		
	A2		16,4	15,5	13,8	-8,5		
	B1		18,0	15,5	15,2	-7,0		

En el otro extremo y muy relacionado con las olas de calor, el número de días con temperatura mayor de 35 °C es un parámetro bioclimático muy importante para multitud de sectores (salud, turismo, industria, urbanismo, medioambiente, agricultura, etc.). Su posible evolución hasta finales de siglo queda recogida en la tabla nº 6. En ella podemos ver un considerable aumento desde el estado actual de 33,8 días a 61,6 días como es el caso del escenario A2 del CNCM3 o 21,8 días en el B1 de BCM2.

Los máximos de ETo siguen la misma secuencia que los máximos de temperatura según escenarios. Así el escenario A2, vuelve a ser el más pesimista, arrojando un aumento de entre el 19,6% y el 14% de la ETo. El modelo y escenario más optimista para esta variable es el BCM2 en B1.

Un tipo de variable bioclimática muy interesante tanto en agricultura como medio ambiente, es el número de días de helada, o lo que es igual el número de días donde la temperatura mínima es igual o menor que 0 °C.



Figura 10. El Balance Hídrico es una variable muy importante para conocer el futuro de ecosistemas y cultivos.



Figura 11. Presa y embalse del Portillo. Sierra de Castril.

Relacionado con la distribución temporal y espacial de la precipitación y evapotranspiración, el balance hídrico da una idea del estrés al que va a verse sometida la vegetación con el cambio climático. Para toda Andalucía la tabla nº 7 recoge esta evolución según modelos y escenarios. Como cabría esperar en un contexto de mayores temperaturas y menores precipitaciones, el balance hídrico que función de ambos se reduce considerablemente en todos los casos estudiados. La disminución del balance hídrico tendrá un efecto directo y considerable, dada su magnitud, sobre la vegetación natural, la agricultura de secano y el caudal base de los ríos y arroyos. En el siguiente punto serán expuestos los

resultados agregados sobre las diferentes cuencas o agrupación de cuencas hidrográficas. Si este hecho va a causar una disminución de las reservas hídricas de los embalses, aún está por estudiar, ya que esta depende en gran medida de cómo se distribuyan las precipitaciones a lo largo del año.

productividad vegetal debido al aumento de la temperatura, mientras que la disminución de las precipitaciones y aumento de la evapotranspiración, dará lugar al efecto opuesto. La *tabla nº 8* expresa este desenlace a nivel autonómico, en el que puede verse que el aumento de la temperatura a nivel general no compensa la disminución del balance hídrico anual. De esta

forma el modelo BCM2 en el escenario A2 arroja las mayores caídas de productividad, y que ascienden al 35,5%. Es de señalar que es este modelo el que prevé menores aumentos de temperatura y mayor disminución de la precipitación. En el extremo opuesto, EGMAM en su escenario A2 da lugar a disminuciones más moderadas de la productividad (9,5%), por tratarse de una combinación más equilibrada entre el aumento de las temperaturas (3,2 °C) y disminución de la precipitación (-13,7%).

Finalmente se expone en la *tabla nº 9* los resultados esperados para el *índice de aridez*, variable bioclimática que expresa la relación entre la precipitación y evapotranspiración de referencia. En este caso es de esperar un aumento generalizado y considerable en toda Andalucía.

		Número anual de días de calor (días). Tabla nº 6				
		Periodo Climático				
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia
CNCM3	A1b	33,8	48,3	66,7	83,0	49,2
	A2		47,2	65,3	95,4	61,6
	B1		48,8	57,4	64,7	31,0
BCM2	A1b		42,2	55,3	68,8	35,0
	A2		41,0	52,7	76,0	42,2
	B1		42,7	49,5	55,6	21,8
ECHAM5	A1b		46,0	70,2	90,5	56,7
	A2		45,1	64,7	92,6	58,9
	B1		45,1	54,2	74,6	40,8
EGMAM	A1b		49,2	66,7	86,0	52,2
	A2		53,1	70,7	93,1	59,3
	B1		47,2	59,6	63,6	29,8

		Balance Hídrico Anual (mm). Tabla nº 7					
		Periodo Climático					
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia	%
CNCM3	A1b	1128	860	518	402	-725	-64,3%
	A2		839	441	369	-759	-67,3%
	B1		713	718	572	-556	-49,3%
BCM2	A1b		855	602	380	-748	-66,3%
	A2		780	510	357	-770	-68,3%
	B1		808	524	652	-475	-42,1%
ECHAM5	A1b		941	665	610	-517	-45,9%
	A2		681	778	423	-705	-62,5%
	B1		929	872	628	-499	-44,3%
EGMAM	A1b		800	841	699	-429	-38,0%
	A2		813	651	778	-349	-31,0%
	B1		989	774	698	-429	-38,1%

Otro parámetro relacionado con la productividad primaria de los ecosistemas naturales y cultivos de secano, es el factor DF o *disponibilidad neta anual de tiempo para la función fotosintética*. Este factor estima la capacidad productiva de un clima, sin limitaciones de suelo, para recrear las condiciones necesarias que requiere un vegetal para producir. Esto ocurre cuando el balance hídrico es positivo y la temperatura es mayor de 7,5 °C. Las horas anuales acumuladas donde ocurren simultáneamente estas condiciones es el factor DF. Es de esperar que el cambio climático provoque efectos contrapuestos sobre este factor, en el que la distribución temporal de los cambios a lo largo del año, es de vital importancia. De esta forma, se espera un aumento de la

Es en el modelo ECHAM5 en su escenario A2, donde la combinación de aumento de la temperatura y disminución de la precipitación, arroja peores valores para este índice, dando lugar a un aumento a finales de siglo de casi el 55%. Por el contrario BCM2 B1 da aumento un aumento del 25%. Nuevamente vuelve a quedar a la vista la importancia que conlleva la acción combinada del aumento de temperatura y disminución de la precipitación en los factores bioclimáticos asociados al régimen hídrico, que como ocurre en el ECHAM5 A2, no siendo ni el más cálido ni el menos lluviosos, da origen al peor de los escenarios de cambio posibles en lo que se a aridez se refiere.

		DF (horas). Tabla nº 8						
		Periodo Climático						
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia	%	
CNCM3	A1b	2008	1913	1574	1353	-656	-32,6%	
	A2		1885	1487	1316	-692	-34,5%	
	B1		1767	1745	1591	-418	-20,8%	
BCM2	A1b		1779	1576	1328	-681	-33,9%	
	A2		1713	1476	1294	-714	-35,5%	
	B1		1813	1457	1614	-395	-19,7%	
ECHAM5	A1b		1829	1645	1658	-350	-17,4%	
	A2		1653	1752	1438	-570	-28,4%	
	B1		1865	1832	1656	-352	-17,5%	
EGMAM	A1b		1751	1820	1696	-312	-15,5%	
	A2		1733	1665	1817	-192	-9,5%	
	B1		1974	1761	1736	-272	-13,5%	

Para acabar, se aclara que en este punto no se ha tratado un factor tan interesante e importante como es la precipitación de nieve. Esto es debido al carácter tan localizado de esta, y cuyo análisis en toda la comunidad puede diluir los resultados. Esta variable será tratada en el siguiente punto donde será analizado de una forma más disgregada.

1.2.2 Evolución de los grupos Climáticos

Para exponer 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 de Andalucía permite levantar y analizar todas las situaciones consideradas.

		Índice de Aridez. Tabla nº 9						
		Periodo Climático						
Modelo	Escenario	1961-2000	2011-40	2041-70	2071-99	Diferencia	%	
CNCM3	A1b	186,3	201,5	245,6	258,2	71,8	38,6%	
	A2		203,4	254,1	266,7	80,4	43,1%	
	B1		219,7	218,6	241,4	55,1	29,6%	
BCM2	A1b		210,4	240,9	264,6	78,2	42,0%	
	A2		218,1	246,7	283,9	97,6	52,4%	
	B1		205,9	245,5	233,0	46,7	25,0%	
ECHAM5	A1b		213,0	252,7	261,4	75,1	40,3%	
	A2		224,8	229,6	288,7	102,3	54,9%	
	B1		209,6	225,2	246,8	60,5	32,5%	
EGMAM	A1b		219,6	229,6	254,5	68,2	36,6%	
	A2		222,8	245,4	246,1	59,8	32,1%	
	B1		222,8	245,4	246,1	59,8	32,1%	

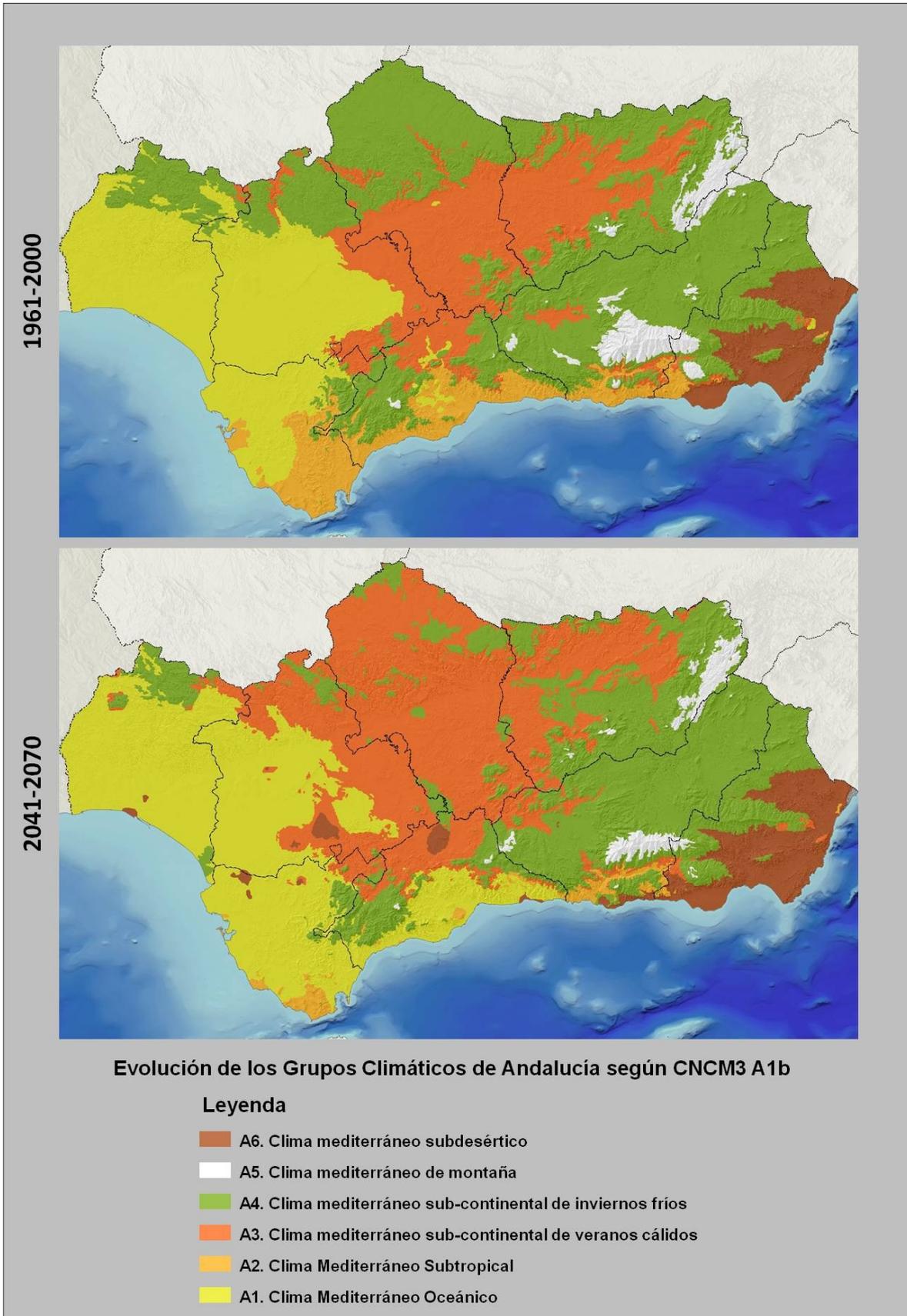
Para analizar lo expuesto, previamente es importante aclarar que las proyecciones de los grupos climáticos pueden tener comportamientos extraños, debido a que la proyección futura parte de una clasificación climática ajustada a la realidad actual, que no tiene por qué mantenerse en el futuro, ya que 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.

Una vez aclarado esto, la tabla nº 10, y figuras 12 y 13, recogen gráfica y numéricamente la evolución de los grupos climáticos según la combinación 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. Actualmente el A3 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 un 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, atenué 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, menos de 2 puntos. 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.

Figura 12. Clasificación bioclimática de Andalucía para el periodo 2041-2070, según CNCM3 A1b.



En resumen, la nueva configuración climática en el 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 relictico en zonas como Sierra Morena. La costa mediterránea experimentará un importante incremento de días de calor, propio de la zona de influencia atlántica, 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 más perjudicado junto al subtropical. Como se adelantó al principio de este documento, el carácter mediterráneo del clima andaluz no va a cambiar sino que 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.

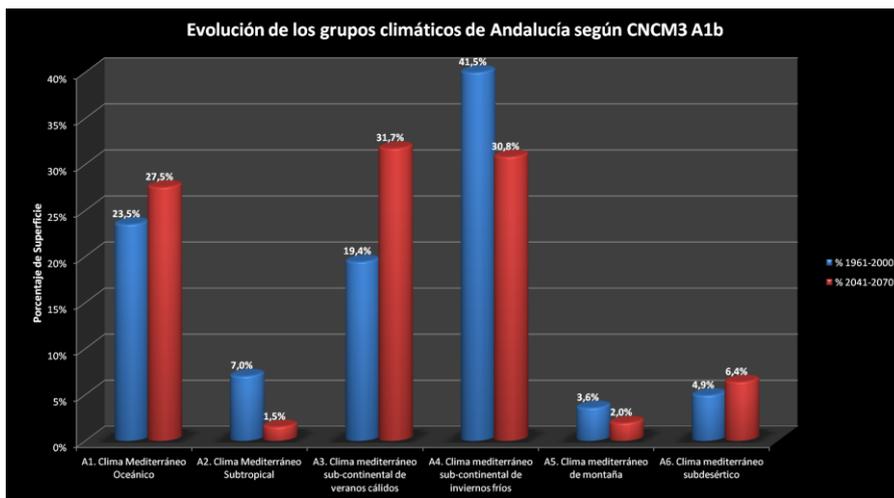


Tabla 10. Evolución de los grandes grupos climáticos entre los periodos 1961-2000 y 2041-2070, según CNCM3 A1b.

1.2.3 Evolución de las variables climáticas

En este punto va a realizarse un análisis de los resultados de las variables climáticas y bioclimáticas más importantes bajo la óptica de su evolución espacial.

La *tabla n° 10* facilita los resultados agregados por provincia para la temperatura media anual en los diferentes

PROVINCIAS	Temperatura Anual según CNCM3 A1b (°C)				Dif
	Periodo Climático				
	1961-00	2011-40	2041-70	2071-99	
Córdoba	16,4	17,5	18,9	19,9	3,5
Jaén	15,3	16,3	17,7	18,6	3,3
Huelva	17,3	18,3	19,6	20,5	3,2
Sevilla	17,3	18,3	19,6	20,5	3,2
Granada	13,5	14,5	15,9	16,7	3,2
Almería	15,6	16,4	17,6	18,3	2,7
Málaga	15,9	16,9	18,1	18,9	3,0
Cádiz	17,4	18,3	19,5	20,3	2,9

PROVINCIAS	Temperatura Anual según CNCM3 A2 (°C)				Diferencia
	Periodo Climático				
	1961-00	2011-40	2041-70	2071-99	
Córdoba	16,4	17,3	18,8	20,6	4,2
Jaén	15,3	16,1	17,5	19,4	4,1
Huelva	17,3	18,1	19,5	21,2	4,0
Sevilla	17,3	18,1	19,5	21,2	3,9
Granada	13,5	14,4	15,7	17,5	4,0
Almería	15,6	16,3	17,4	18,9	3,4
Málaga	15,9	16,7	18,0	19,5	3,6
Cádiz	17,4	18,1	19,4	21,0	3,6

PROVINCIAS	Temperatura Anual según CNCM3 B1 (°C)				Diferencia
	Periodo Climático				
	1961-00	2011-40	2041-70	2071-99	
Córdoba	16,4	17,6	18,1	18,7	2,3
Jaén	15,3	16,4	16,9	17,5	2,2
Huelva	17,3	18,4	18,8	19,4	2,1
Sevilla	17,3	18,4	18,8	19,4	2,1
Granada	13,5	14,6	15,1	15,6	2,1
Almería	15,6	16,5	16,9	17,3	1,8
Málaga	15,9	17,0	17,3	17,9	1,9
Cádiz	17,4	18,4	18,8	19,3	1,9

escenarios usados en el modelo CNCM3.

Tabla 10. Temperatura media anual agrupada por provincias según los escenarios A1b, A2 y B1, y MCG CNCM3.

Al igual que en los resultados agregados para toda Andalucía, vuelve a quedar patente la diferencia entre escenarios, donde el A2 arroja las mayores diferencias de temperatura. Sin embargo, con estos datos podemos empezar a diferenciar entre regiones, destacando como era de esperar, que será en las provincias más continentales donde se produzcan los mayores incrementos de esta variable. Córdoba en primer lugar, seguida muy de cerca por Jaén, serán las provincias que con toda seguridad y en cualquiera de los escenarios experimenten los mayores incrementos de temperatura media anual, mientras que Almería donde menos.

Para conocer cómo se distribuirá este aumento a lo largo del año, el gráfico de la *figura 13* recoge un análisis estacional de la temperatura, y cómo estos incrementos se acentuarán precisamente en las estaciones más cálidas.

La tabla 12 recoge los datos agregados por provincia de la precipitación anual para los tres escenarios del modelo

CNCM3. En ésta puede observarse como Cádiz es la más perjudicada en la mayor parte de los casos, seguida de Córdoba, Jaén y Sevilla, mientras que Almería la que menos, incluso aumentando en el caso del escenario A1b.

PROVINCIAS	Precipitación Anual CNCM3 A1b (mm)				Diferencia %
	Periodo Climático				
	1961-00	2011-40	2041-70	2071-99	
Córdoba	577	561	484	462	-20,0%
Jaén	634	605	513	500	-21,1%
Huelva	655	638	566	542	-17,3%
Sevilla	589	572	497	466	-20,9%
Granada	539	531	449	442	-18,1%
Almería	306	315	282	308	0,5%
Málaga	665	660	562	544	-18,2%
Cádiz	778	745	633	596	-23,5%

PROVINCIAS	Precipitación Anual CNCM3 A2 (mm)				Diferencia %
	Periodo Climático				
	1961-00	2011-40	2041-70	2071-99	
Córdoba	577	549	469	460	-20,2%
Jaén	634	590	505	503	-20,6%
Huelva	655	641	561	543	-17,1%
Sevilla	589	565	477	463	-21,4%
Granada	539	516	426	444	-17,7%
Almería	306	310	264	298	-2,7%
Málaga	665	646	527	546	-17,9%
Cádiz	778	736	601	593	-23,8%

PROVINCIAS	Precipitación Anual CNCM3 B1 (mm)				Diferencia %
	Periodo Climático				
	1961-00	2011-40	2041-70	2071-99	
Córdoba	577	513	526	484	-16,1%
Jaén	634	546	563	515	-18,6%
Huelva	655	590	608	568	-13,2%
Sevilla	589	522	535	495	-15,9%
Granada	539	480	497	452	-16,2%
Almería	306	300	301	289	-5,4%
Málaga	665	602	617	567	-14,7%
Cádiz	778	678	693	639	-17,9%

Tabla 12. Precipitación media anual agrupada por provincias según los escenarios A1b, A2 y B1, y MCG CNCM3.

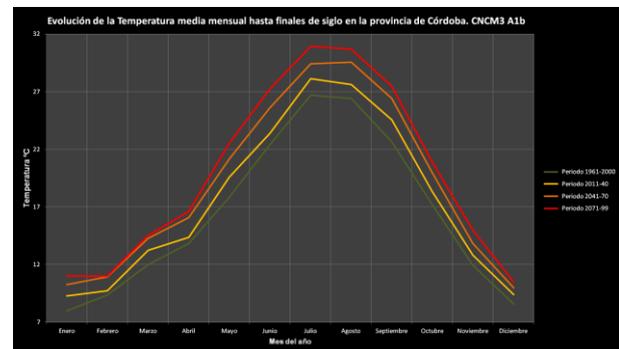


Figura 13. Evolución de la Temperatura media mensual a lo largo del año en la provincia de Córdoba según el CNCM3 A1b.

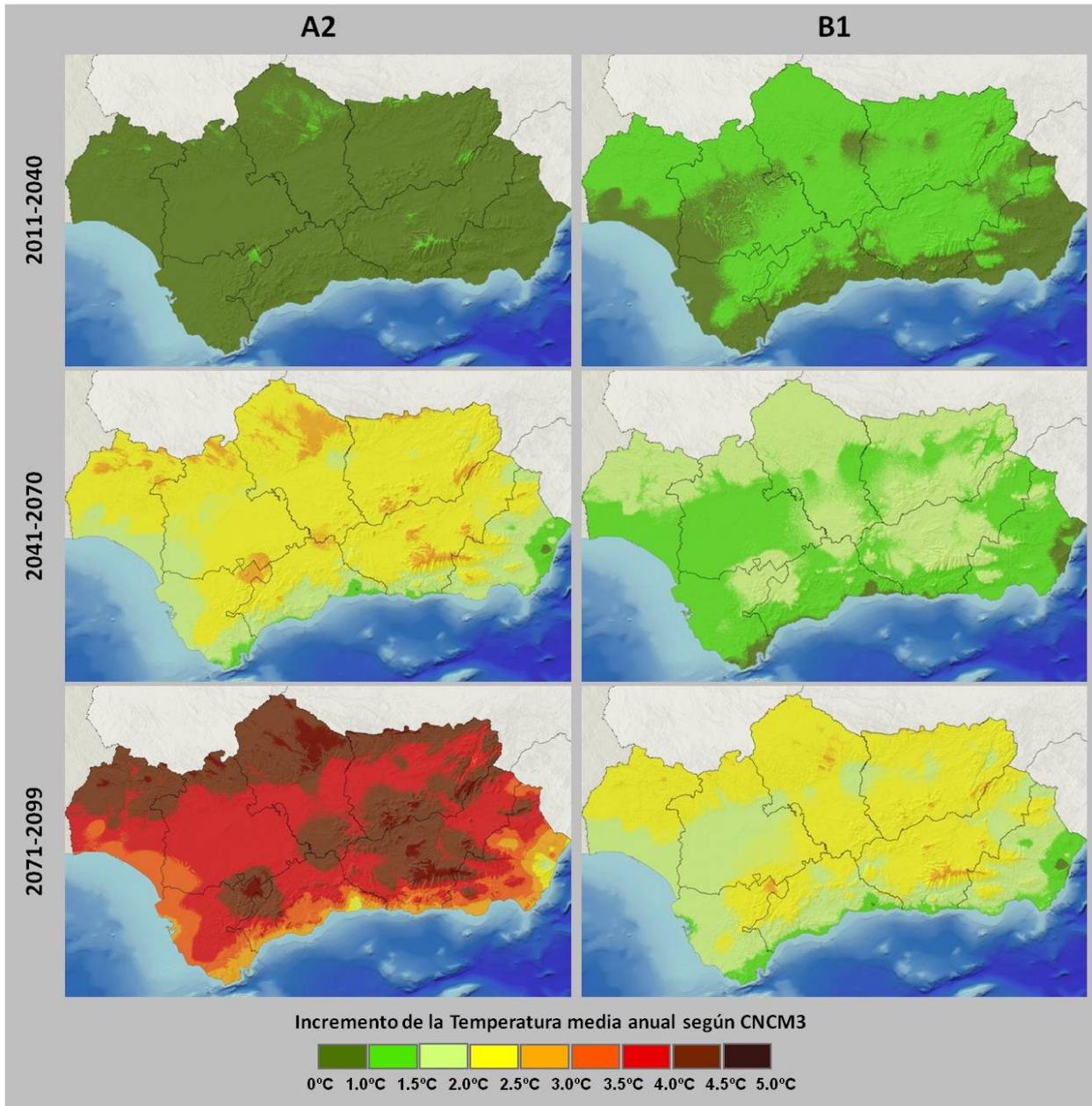


Figura 14. Evolución de la Temperatura media anual para los escenarios A2 y B1 del MCG CNCM3

La figura 14 recoge la evolución espacial del incremento de la temperatura media a lo largo de los periodos climáticos considerados, en el MCG CNCM3 y escenarios A2 y B1, que definen el rango más amplio de posibilidades de cambio. Destaca cómo el escenario B1 (desarrollo regional y sostenible) incrementa más su temperatura media anual durante el periodo inicial 2041-2040, que el A2 (escenario que representa la continuidad con las tendencias de desarrollo actuales). Esta diferencia se invierte a finales de siglo.

Como resalta en dicha figura, la combinación A2 y 2071-2099 representa las perspectivas de Cambio Climático más negativas, resultando especialmente dramático el

incremento de la temperatura media anual de hasta 5°C en las zonas continentales de la región andaluza.

Según este último escenario, las zonas más perjudicadas serán las regiones de alta y media montaña como Sierra Nevada, Cazorla, Grazalema y Norte de Sierra Morena de Córdoba, donde los incrementos alcanzarán hasta los 5°C. De cerca y con incrementos de 4.0 y 4.5°C, lo harán el resto de serranías de prácticamente toda Andalucía. El Valle del Guadalquivir, y su área de influencia aumentará de 3.0°C a 4.0°C, mientras que donde menos aumentará será a lo largo de toda la costa mediterránea, más suavemente cuanto más nos acercamos a Almería.

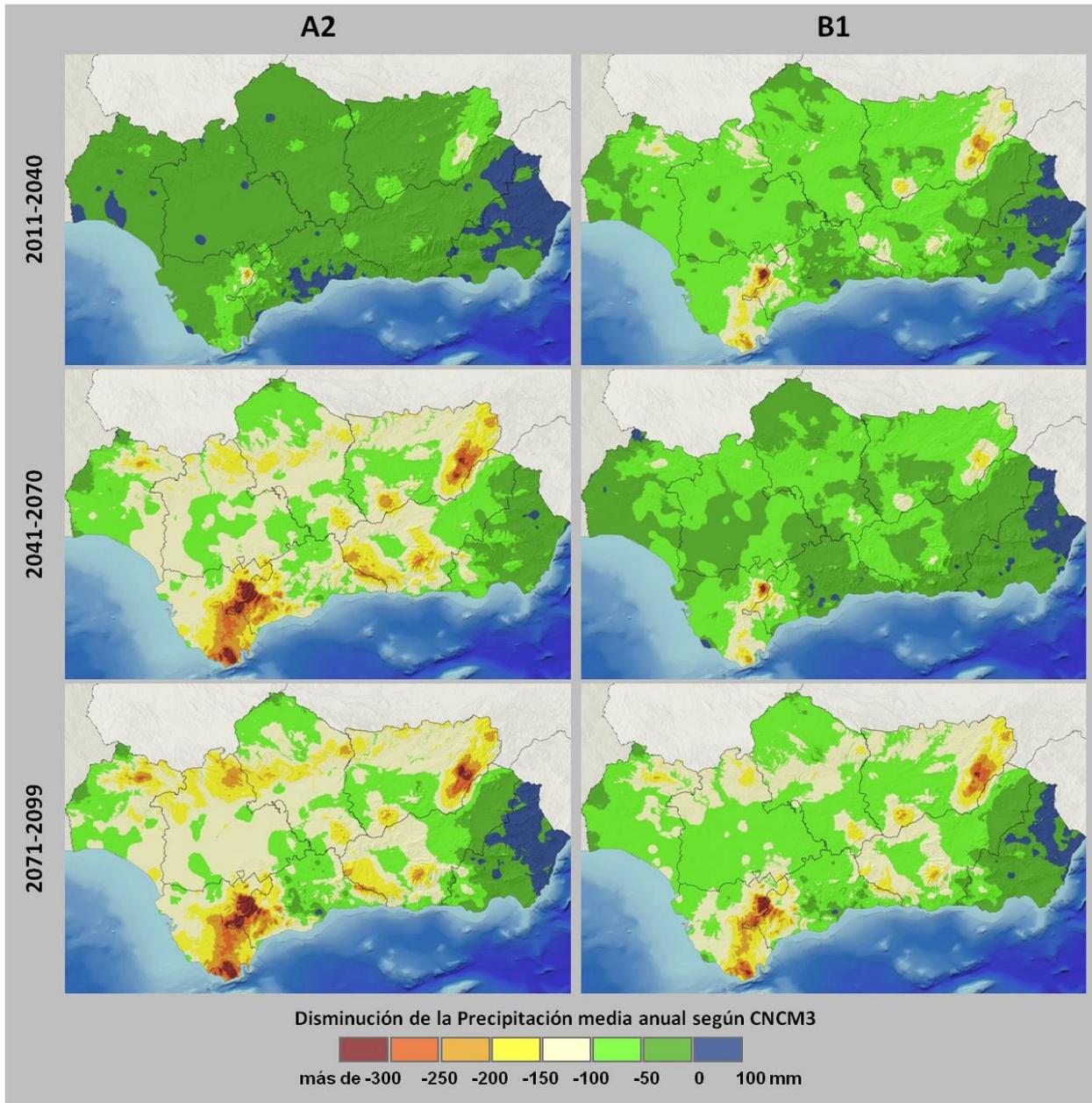


Figura 15. Evolución de la Precipitación media anual para los escenarios A2 y B1 del MCG CNCM3.

Puede observarse que la distribución esperada a finales de siglo en el escenario B1 es muy semejante a la situación predicha, tanto en magnitud como distribución del periodo intermedio en el A2.

Aunque la gráfica de la figura 13 es un ejemplo particularizado para Córdoba, ésta representa la tónica general en todos los modelos y escenarios, que vienen a reflejar que los aumentos de temperatura incidirán, sobre todo, en los meses de primavera y verano y menos en invierno.

En cuanto a la evolución de las precipitaciones, la figura 15 recoge el cambio previsto para los escenarios A2 y B1 en el modelo CNCM3. En ésta puede verse que aún siendo el escenario A2 el más negativo las diferencias no son tan

amplias entre ambos, incluso arrojando disminuciones de precipitación más acusadas en B1 en el arranque de siglo. En ambos casos, incluso hay zonas de Andalucía Oriental donde la precipitación aumenta levemente. En el escenario A2 la disminución de las precipitaciones se estabiliza a partir del periodo 2041-2070, llegando a aumentar en el extremo oriental. Esta estabilidad no llega a apreciarse en el B1, aunque su aumento es más progresivo, llegando a una distribución semejante a A2, aunque menos intensa. Las zonas más afectadas en todos los casos son Sierra de Cazorla, Segura y las Villas, Grazalema y Alcornocales.

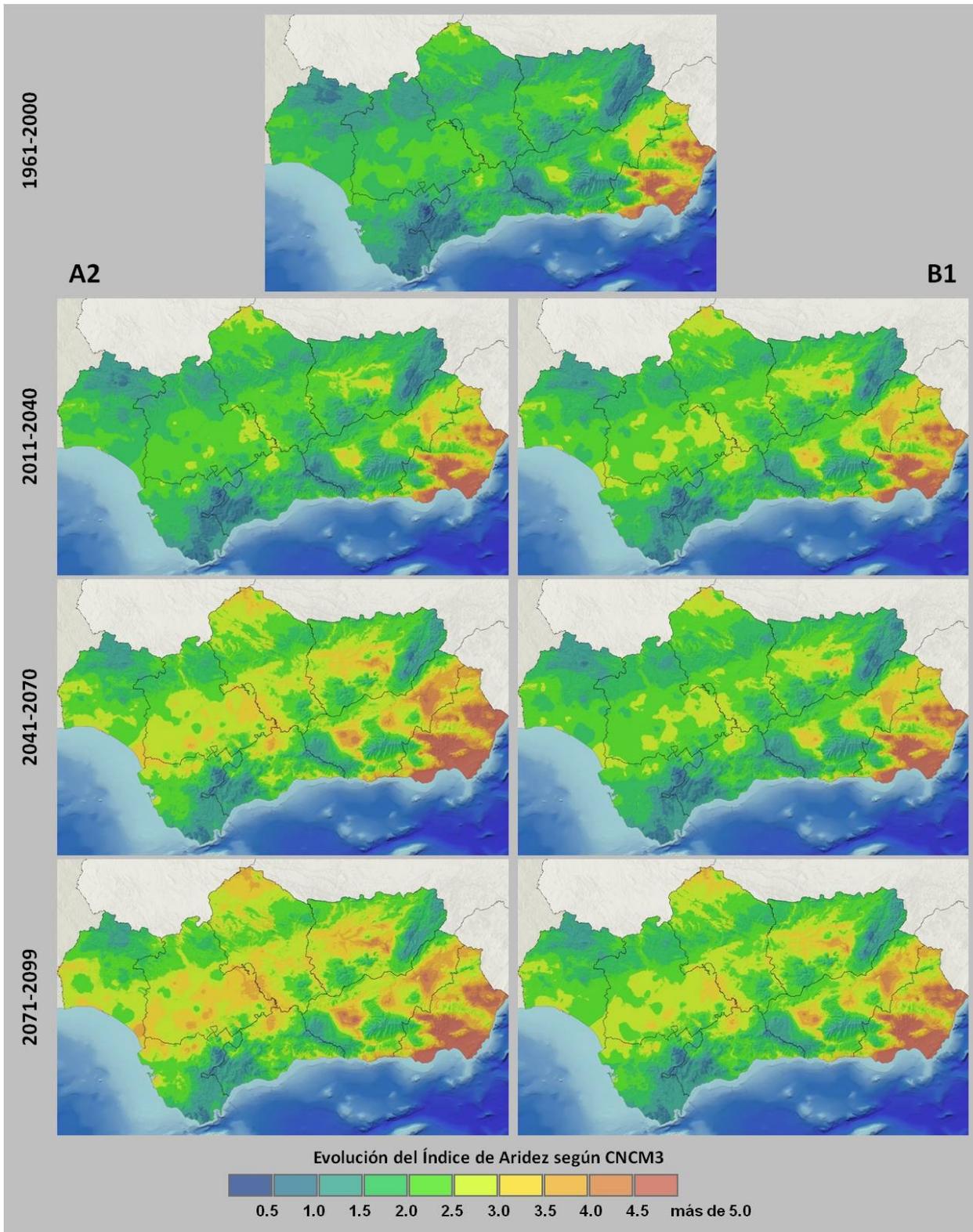


Figura 16. Evolución del Índice de Aridez para los escenarios A2 y B1 del MCG CNCM3, desde el periodo de referencia 1961-2000.

La figura 16 representa la evolución del índice de aridez según el MCG CNCM3 en los escenarios A2 y B1. El índice de aridez es el cociente entre la evapotranspiración de

referencia y la precipitación, ambas anuales. Por consiguiente un valor de este índice cercano a la unidad significaría un equilibrio entre el agua que se pierde por evapotranspiración y el agua que precipita.

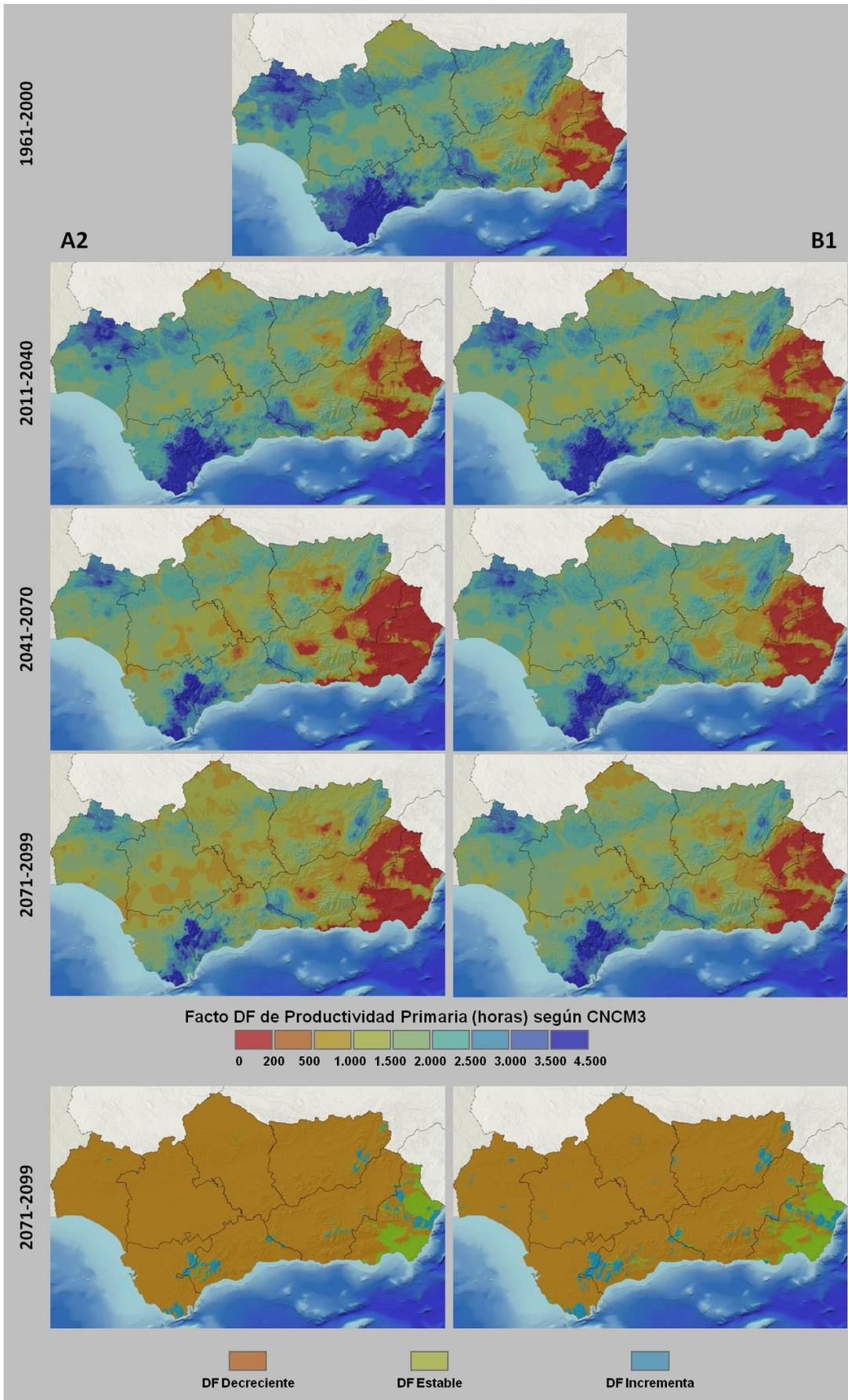


Figura 17. Evolución del factor DF según CNCM3, para los escenarios A2 y B1 del MCG CNCM3, desde el periodo de referencia 1961-2000. Zonificación de Andalucía según pérdida de potencialidad productiva primaria.

La variación del índice de aridez por el Cambio Climático no solo va a estar alterado por un cambio en la precipitación, sino también por la temperatura, radiación solar, viento, etc. Su relación con la capacidad de un lugar para el crecimiento vegetal es muy directa. Sin embargo, al no considerar factores estacionales es necesario complementarla con otras variables como el factor de productividad DF o *disponibilidad neta anual de tiempo para la función fotosintética*. La situación prevista a final de siglo para esta variable bioclimática manifiesta la desaparición de la práctica totalidad de las zonas húmedas y subhúmedas andaluzas, y un aumento significativo de la superficie sometida a condiciones de aridez, así como la aridificación generalizada de toda Andalucía, en ambos escenarios.

Una mejora del índice de aridez que incluye el efecto estacional combinado de la precipitación y temperatura lo representa la *figura 17*. Se trata del factor bioclimático DF, relacionado con la productividad primaria. Como se discutía en los resultados generales el cambio climático tendrá efectos contrapuestos en esta variable, debido a la mejora de las condiciones de la temperatura para la planta en las zonas frías y perjuicio por la pérdida de precipitación y aumento de la evapotranspiración. Sin embargo, la disminución de la productividad será la tónica generalizada de toda Andalucía como puede observarse en esta figura, quedando estable en algunas zonas como el este de Almería. Como cabía esperar, las zonas de alta montaña experimentarán un aumento de la productividad primaria, dado que, y a pesar de la disminución de la precipitación, las temperaturas más suaves y prolongadas por más tiempo permitirán a la vegetación mayor margen de producción.

Por último y relacionado también con las zonas de alta y media montaña analizaremos la precipitación en forma de nieve, y que viene reflejada en la *figura 18*. Son los resultados de esta variable para el MCG CNCM3 y escenario A1b. Como puede apreciarse 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. Los responsables de esta disminución es la acción combinada de la disminución de la precipitación y aumento de la temperatura. El resto de modelos y escenarios llegan a esta misma conclusión con mayor o menor grado de descenso.

Figura 18. Evolución de la precipitación en forma de nieve para el escenario A1b y MCG CNCM3, desde el periodo de referencia 1961-2000.

