JUNTA DE ANDALUCIA

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

Pioneros

Pioneros

Fuensanta Coves Botella

Un paisaje cultural

20 años del Parque Natural
Cabo de Gata-Níjar

Los pinsapos en el origen de una Reserva de la Biosfera

20 años de las Reservas naturales de las Lagunas de Cádiz

El Parque Natural de Sierra María-Los Vélez

20 años de convivencia

El cambio climático en Andalucía

Escenarios actuales
y futuros del clima

Foto Portada:
Las salinas del Cabo de Gata desde el cielo

59
primavera
2008

MA
medioambiente

CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

www.juntadeandalucia.es/medioambiente

Servicios centrales

Manuel Siurot, 50
41071 Sevilla
Tlf: 955 003 500

Información sobre caza, pesca continental y otros aprovechamientos de la flora y la fauna silvestre:
900 850 500

Publicaciones.
Suscripción y venta:
902 363 978

112
Emergencias

JUNTA DE ANDALUCIA

Delegaciones Provinciales

Almería
c/ Reyes Católicos, 43
04071 Almería
Tlf: 950 01 28 00

Cádiz
Plaza Asdrúbal, s/n. 3ª planta
11008 Cádiz
Tlf: 956 00 87 00

Córdoba
c/ Tomás de Aquino, s/n. 7ª planta
14071 Córdoba
Tlf: 957 00 13 00

Granada
c/ Marqués de la Ensenada, 1
18004 Granada
Tlf: 958 53 76 00

Huelva
c/ Sanlúcar de Barrameda, 3
21071 Huelva
Tlf: 959 01 15 00

Jaén
c/ Fuente del Serbo, 3. Ed. Mirador
23071 Jaén
Tlf: 953 01 24 00

Málaga
c/ Mauricio Moro Pareto, 2.
Ed. Eurocom-Bloque Sur, 3ª y 4ª
29071 Málaga
Tlf: 951 04 00 58

Sevilla
Avda. de la Innovación, s/n
Edificio Minister
41071 Sevilla
Tlf: 955 00 44 00

AGENCIA ANDALUZA DEL AGUA
Avda. Américo Vespucio, 5, 2
Isla de la Cartuja. 41092 Sevilla
Tlf: 955 62 52 30

EMPRESA DE GESTIÓN MEDIO AMBIENTAL
Avda. Johan G. Gutenberg, s/n
Isla de la Cartuja
41092 Sevilla
Tlf: 902 52 51 00

Centros de Visitantes de los Espacios Naturales Protegidos

Parque Natural de Sierra Nevada (Granada, Almería)
958 34 06 25 | 950 51 35 48

Parque Natural Cabo de Gata-Níjar (Almería)
950 16 04 35

Parque Natural Sierra María-Los Vélez (Almería)
950 52 70 05 | 950 41 53 54

Paraje Natural Karst de Yesos de Sorbas (Almería)
950 36 45 63

Parque Natural de Doñana (Huelva, Cádiz, Sevilla)
956 38 09 22 | 670 94 78 37

Parque Natural Sierra de Grazalema (Cádiz, Málaga)
952 15 45 99

Parque Natural de Los Alcornocales (Cádiz, Málaga)
956 67 91 61 | 956 41 33 07
956 41 33 08
952 15 45 99

Parque Natural Sierra de Hornachuelos (Córdoba)
957 64 11 40

Parque Natural Sierra de Cardeña y Montoro (Córdoba)
957 01 59 23

Parque Natural Sierras Subbéticas (Córdoba)
957 33 40 34

Parque Periurbano Los Villares (Córdoba)
957 33 01 45

Reserva Natural Laguna de Zóñar (Córdoba)
957 33 52 52

Parque Natural Sierra de Baza (Granada)
958 00 20 18

Parque Natural Sierra de Castril (Granada)
958 72 00 59

Parque Natural Sierra de Huétor (Granada)
958 54 04 26

Parque Natural Sierra de Aracena y Picos de Aroche (Huelva)
959 12 88 25

Paraje Natural Marismas del Odiel (Huelva)
959 50 90 11

Parque Natural Sierra de Andújar (Jaén)
953 54 90 30

Parque Natural de Despeñaperros (Jaén)
953 66 43 07

Parque Natural Sierras de Cazorla, Segura y las Villas (Jaén)
953 71 30 40 | 953 12 42 35

Parque Natural Sierra Mágina (Jaén)
953 78 76 56

Paraje Natural Torcal de Antequera (Málaga)
952 03 13 89

Reserva Natural Laguna de Fuente de Piedra (Málaga)
952 11 17 15

Parque Natural Sierra Norte de Sevilla (Sevilla)
955 88 15 97 | 955 95 20 49

Programas de actividades en Espacios Naturales Protegidos
902 52 51 00

Pioneros

Fuensanta Coves

El año 1984 vivió un hito modesto, casi sin relevancia en los titulares de los diarios ese día, pero que se ha tornado de extraordinario peso. Andalucía se convirtió en la primera Comunidad Autónoma española en disponer de una administración ambiental, gracias a la creación de la Agencia de Medio Ambiente tras votación del Parlamento andaluz el 12 de junio de 1984. En aquel momento, Andalucía tenía protegido solamente Doñana y el Torcal de Antequera, lo cual nos da una idea del vertiginoso periodo recorrido hasta hoy, cuando existen 146 espacios catalogados.

Pero antes de ese momento crucial de 1984, estaba Grazalema. Desde 1977 podía alardear de ser la primera Reserva de la Biosfera declarada por la Unesco en España; y el pinsapar era conocido internacionalmente como una de las joyas botánicas y paisajísticas del continente. A la postre se comprobó también el acierto de empezar la aprobación de parques naturales en este enclave por la extraordinaria sensibilidad de las gentes de la comarca, aspecto éste que se revelaría como muy importante para el devenir de la actual Red de Espacios Protegidos de Andalucía.

Una actitud de rechazo por parte de los habitantes del espacio protegido hubiera sido un pesado lastre, y no sólo para el recién nacido parque natural. La colaboración y, hay que decirlo, la paciencia de esas personas ante los primeros pasos de la Agencia de Medio Ambiente se convirtió en un aval de confianza para los gestores, y asimismo en una apuesta ganadora para sus vecinos.

Y es que ya hace tiempo que la Sierra de Grazalema vivió la explosión del turismo, sostenible y rural, conformándose —junto a Cazorla y la Sierra Nevada alpujarreña— en punta de lanza, en efecto demostrativo de una de las ventajas que aporta la protección ambiental. No en vano el parque natural gaditano fue también pionero en la puesta en marcha de planes que permitieran generar rentas sin merma de su excelencia ecológica. Primero se llamó plan de desarrollo socieconómico, y luego de ecodesarrollo; no es baladí citarlos porque en aquel entonces ni estaba inventado el término desarrollo sostenible. Hoy día, ya con esta expresión, se desarrolla un programa con idéntico objetivo que sus predecesores.

Cabo de Gata y Sierra María-Los Vélez, dos paisajes tan impactantes y diferentes en la misma Almería, pueden enorgullecerse de estar en el grupo de pioneros. De haber marcado caminos que otras comunidades autónomas recorren hoy seguras. Uno de los méritos que singularizan a Cabo de Gata es el erigirse actualmente como el espacio litoral mejor conservado del Mediterráneo occidental.

No quieren parecer estas líneas autocomplacientes, los retos siempre abundan más que los logros. Pero ya decía Aristóteles que saber es acordarse y, por una vez, es lícito hacer una pausa en el acelerado día a día del medio ambiente para reflexionar, para felicitarnos por lo alcanzado entre todos —y para todos— gracias al consenso, y así sacar más atinadas conclusiones sobre los próximos objetivos de una red de espacios protegidos que es una auténtica referencia en Europa.

MA
medioambiente
59
primavera
2008

03
Pioneros
Fuensanta Coves

28
Sierra María
Veinte años de convivencia en el Parque Natural Sierra María-Los Vélez

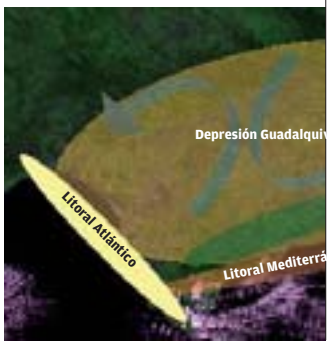
06
Cabo de Gata
Veinte años desde la declaración del Parque Natural Cabo de Gata-Níjar

18
Grazalema
La diversidad florística en el Parque Natural Sierra de Grazalema

13
Pinsapos
Los pinsapos en el origen de una Reserva de la Biosfera

33
Clima
Escenarios actuales y futuros del clima en Andalucía

22
Lagunas
Veinte años de las Reservas naturales de las Lagunas de Cádiz



JUNTA DE ANDALUCIA
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE

EDITA
Consejería de Medio Ambiente

CONSEJERA DE MEDIO AMBIENTE
Fuensanta Coves Botella
VICECONSEJERO DE MEDIO AMBIENTE
Juan Espadas Cejas

CONSEJO EDITORIAL
PRESIDENTA
Cecilia Gañán de Molina
VOCALES
Jorge Molina
José María Oliet
Leandro Sequeiros
Pedro Mantilla
María Nieves Parrilla
Cristina García
Rosa Llacer

DIRECTOR
Juan Carlos Perucha

DISEÑO Y PRODUCCIÓN EDITORIAL
SumaySigue Comunicación

FOTOMECÁNICA
Textos y Formas

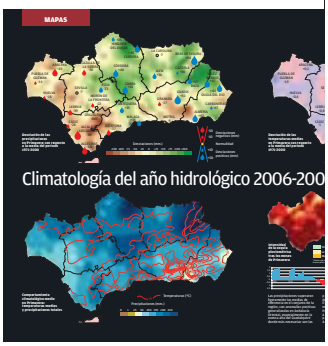
IMPRESIÓN
Escandón Impresores

FOTOGRAFÍA
Archivo de la Consejería de Medio Ambiente

ECF producto ecológico
DEPÓSITO LEGAL: SE-1.045-1990
ISSN 1130-5622

40
En breve
Contaminantes, Cabo de Gata, lince, Ecobarómetro, ecoinnovación, humedales

44
Mapas
Mapas sobre climatología del año hidrológico y estrés de la vegetación



50
Flora y fauna
Flora y fauna amenazada en Andalucía

54
El Mirón
Manda tus fotos digitales sobre medio ambiente en Andalucía

43
En la web
Balanza del CO_2, portal del cazador y el pescador, ventana del visitante a espacios naturales

48
UICN
Areas protegidas también en el mar Mediterráneo

52
Agenda
Libros, documentos, CD/DVD, revistas, encuentros, legislación

56
El Ojo Verde
Andrés M. Domínguez

EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ANDALUCÍA

ESCENARIOS ACTUALES Y FUTUROS DEL CLIMA

José Manuel Moreira Madueño
DIRECCIÓN GENERAL DE PARTICIPACIÓN
E INFORMACIÓN AMBIENTAL
CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE
JUNTA DE ANDALUCÍA

1. Andalucía ante el Cambio Climático.

La comunidad internacional ha reconocido el cambio climático como un problema global que precisa de medidas urgentes para la mitigación de sus efectos.

En la actualidad y ante lo que ya es inevitable, los esfuerzos se centran en determinar sus posibles impactos y en desarrollar Estrategias de Adaptación. La inclusión de Estrategias de Adaptación ante el Cambio Climático en la planificación territorial es una cuestión básica para minimizar los impactos naturales, sociales y económicos que el cambio climático va a producir.

Los escenarios de cambio climático son el punto de partida para el desarrollo de las Estrategias de Adaptación. Andalucía ha iniciado este camino elaborando su Estrategia de Adaptación ante el cambio climático (2002), la cual ha culminado en un Plan andaluz de acción por el clima (2007), del que forman parte los estudios y resultados que se van a comentar seguidamente.

A escala internacional, el último informe presentado (octubre 2007) por el Panel Internacional sobre el Cambio Climático (IPCC) pone de manifiesto que los efectos del cambio climático serán especialmente evidentes en las regiones más áridas de latitudes medias, como es el caso de Andalucía. Desde el punto de vista de una posible afección a los ecosistemas existentes en el territorio de Andalucía, esto tendrá unas implicaciones muy diversas. Si las vemos sólo desde la perspectiva de la evolución en el tiempo, es evidente que tendrá que producirse, como así ha ocurrido a través de toda la historia de la Tierra, una adaptación, a largo plazo, a la nueva situación. Esta adaptación, no posible a corto plazo, vendrá condicionada por procesos de migración, los cuales tendrían en Andalucía una doble limitación:

a) A escala local significaría, probablemente, una reducción o ampliación territorial de los hábitats, que buscarían ámbitos más propicios. Aquellos hábitats de distribución restringida en la actualidad y condicionada por factores climáticos, verán muy comprometida su existencia, afectando esto a una gran cantidad de ecosistemas y especies de distribución endémicos de los que Andalucía es un territorio privilegiado.

b) A escala continental la pervivencia de los ecosistemas y su nueva extensión y capacidad para migrar estarán muy condicionadas por la continuidad territorial que actualmente presenten los ecosistemas, hábitats y especies, de forma que sólo podrán migrar aquellos que sean capaces de tener disponible una distribución que les permita ir "avanzando o retrocediendo" hasta los límites que la nueva situación climática les imponga.

Andalucía aprobó en 2002 una estrategia regional sobre cambio climático, entre cuyas medidas destacan: la creación de un Panel científico de seguimiento de la Estrategia; el desarrollo de una nueva Ley sobre Calidad Ambiental que adapte la IPPC; la realización de inventarios de emisiones y sumideros; la adaptación de las políticas forestales y de biodiversidad, así como del Plan Forestal, Plan INFOCA, etc., y de las políticas de protección del suelo y control de la erosión; elaboración de mapas sobre capacidad de sumideros de CO2; el establecimiento de un sistema de indicadores y la puesta en marcha de un Sistema de Información de Climatología Ambiental de Andalucía en el seno de la Red de información ambiental de Andalucía.

En este último sentido, la Consejería de Medio Ambiente ha desarrollado el denominado Sistema CLIMA, el cual tiene, actualmente, las siguientes peculiaridades:

El Índice de Sequía Pluviométrica refleja los meses acumulados de deficiencia de lluvia respecto a la media de una serie de años que se van produciendo

■ Recibe información de más de 2.300 estaciones meteorológicas.

■ En cada estación se evalúan cerca de 600 variables (entre directas y calculadas).

■ En el sistema se almacena información de más de 250.000 variables para todas las estaciones.

■ El volumen de datos originales, cargados hasta el momento, asciende a más de 1000 millones (una vez terminado el proceso de agregación de datos se esperan superar los 2000 millones de datos).

■ El coste para implementar el CLIMA ha superado los 600.000 €, invertidos a lo largo de 5 años. A través de este Sistema CLIMA, la Consejería de Medio Ambiente ha llevado a cabo un estudio sobre escenarios futuros de cambio climático que tienen en cuenta diferentes alternativas en el desarrollo económico mundial. Estos escenarios suponen posibles emisiones de gases de efecto invernadero sobre la atmósfera según un modelo de crecimiento económico escogido. Así mismo se han empleado distintos modelos físicos que simulan el comportamiento global de la atmósfera condicionado éste por los gases que se concentran en ella. Los resultados iniciales generados a nivel regional han sido proporcionados por tres de los más reputados modelos a nivel mundial.Se han elaborado escenarios sobre el comportamiento futuro del clima para las siguientes variables: precipitación, temperaturas máximas y temperaturas mínimas, en intervalos temporales de treinta años para precipitaciones y de diez para las temperaturas, abarcándose el conjunto del siglo XXI. Los datos resultantes se obtienen de forma individualizada para cada observatorio meteorológico y se ha espacializado la información puntual a través del Sistema de Información Geográfico Ambiental de Andalucía al conjunto de la Comunidad Autónoma.

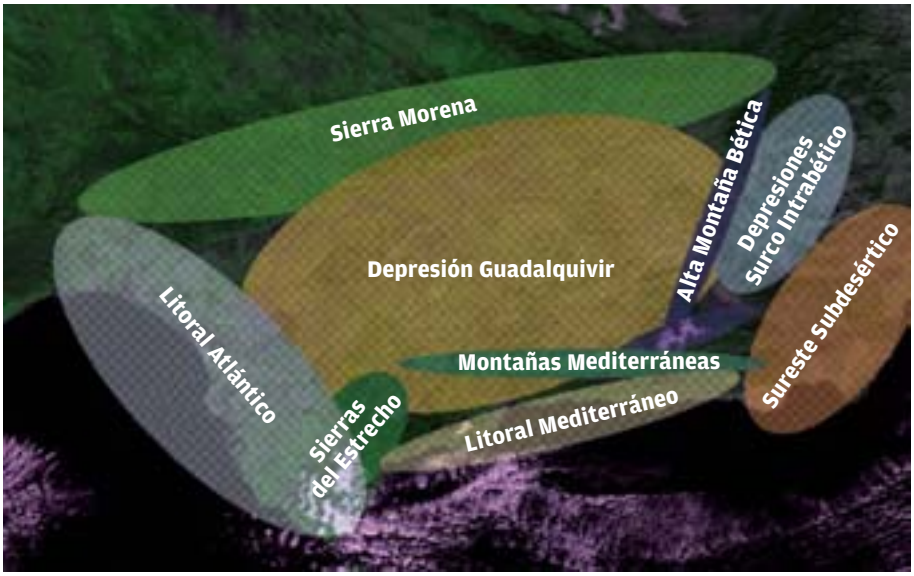
Pero antes de analizar lo que estos datos pronostican hacia el futuro, conozcamos cuáles son las condiciones que el presente nos está poniendo en evidencia.

2. El escenario actual del clima en Andalucía y sus riesgos asociados.

La sequía es, en la actualidad, en nuestra Comunidad Autónoma, el fenómeno del clima al que se mira con mayor preocupación. Las secuencias secas de duración superior al año son las que realmente tienen alguna repercusión sobre la vida social y económica de la región. Esta preocupación ha dado lugar a que se elaboren una gran cantidad de informes de seguimiento de este fenómeno por parte de diversas instituciones relacionadas con la gestión del agua. La Consejería de Medio ambiente ha elaborado un índice de sequía, basado en el cálculo de las anomalías pluviométricas acumuladas que se registran, al que se denomina Índice Estandarizado de Sequía Pluviométrica, el cual viene a reflejar cuántos meses acumulados de deficiencia de lluvia (con respecto a la media de una serie de años) se van produciendo. Gráficamente es muy significativo el comportamiento de este índice, mostrándonos cómo la sequía ha pasado de ser una anomalía ambiental, con presencia esporádica entre los años 50 a los 70, a ser, a partir de los años 80 del siglo XX, el fenómeno climático con mayor presencia, de forma que los periodos de sequía son cada vez más prolongados y cercanos unos a otros, marcándose un cambio de tendencia muy evidente.

La incidencia territorial de la sequía es asimismo muy preocupante, ya que al final de los años hidrológicos, prácticamente toda la Comunidad Autónoma se ve afectada por este fenómeno que incide ya sobre todos los meses del año, pero con una especial incidencia en primavera, estación fundamental en las condiciones de los ecosistemas mediterráneos. Hay que tener en cuenta, además, que algunos de los periodos de crisis más fuerte de la sequía en Andalucía, que se muestran aún como algo coyuntural (por ejemplo la sequía de finales de la primavera del año 2005), se pueden llegar a convertir en situaciones estructurales y permanentes, si la evolución que marcan los escenarios futuros se cumple.

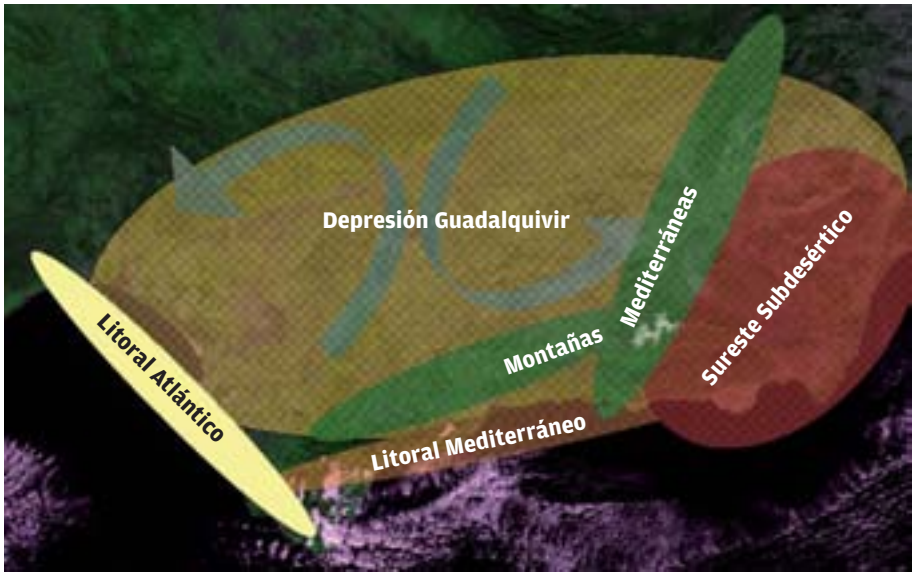
CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA ACTUAL EN FUNCIÓN DE LAS TEMPERATURAS



Para conocer cómo el comportamiento actual del clima, y su fenómeno más preocupante, el de la sequía, incide sobre el medio ambiente, más allá de lo que normalmente identificamos como incidencia de la sequía, que es la falta de agua para consumo humano o para el regadío, se realizan análisis con imágenes de satélite que permiten conocer cómo los ecosistemas naturales o cultivados están respondiendo ante la mayor o menor disponibilidad de agua. Los datos facilitados por satélites de reconocimiento de recursos naturales pueden ser territorializados y permiten conocer el nivel de actividad clorofílica de los ecosistemas vegetales. Series temporales largas de estas informaciones facilitan, a su vez, llegar a establecer índices sobre las anomalías en el comportamiento de las cubiertas vegetales, reflejando su nivel de estrés hídrico.

La plasmación territorial del estrés hídrico en Andalucía, también viene a confirmar que nuestros ecosistemas vegetales sufren, cada vez más, de una acumulación, al final del año hidrológico, lo que hace que las anomalías con relación al comportamiento medio sean siempre negativas, siendo su incidencia territorial siempre superior al 50% en todas las provincias occidentales y Jaén y sólo menor a este umbral en las provincias de Granada, Málaga y Almería (en este último caso la menos afectada por estas anomalías, pero recordemos que es la provincia más seca de la Comunidad). Estos fenómenos inciden sobre un riesgo ambiental que en los territorios mediterráneos está siempre presente: la desertificación. En la actualidad la desertificación en Andalucía tiene su plasmación en la existencia de unos ecosistemas singulares y excepcionales en el contexto euro-

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA FUTURA EN FUNCIÓN DE LAS TEMPERATURAS



peo, la existencia de unas zonas desérticas o subdesérticas naturales de gran interés y que precisan ser conservadas. Pero el riesgo de que el comportamiento actual del clima y su incidencia sobre los ecosistemas provoque una extensión de las zonas desérticas y subdesérticas sobre otros ecosistemas es muy elevado y requiere ser evaluado, al menos, para conocer cuáles pueden ser los territorios más vulnerables a los futuros cambios y poder establecer estrategias de adaptación y/o protección de las mismas. No obstante, los modelos que permiten evaluar los riesgos de desertificación en las actuales condiciones de uso (figura 2) y los que permiten conocer la sensibilidad de las tierras a la degradación, a la que daría lugar un cambio de las condiciones ambientales, son preocupantes, ya que un amplísimo territorio de nuestra Comunidad Autónoma tiene unos niveles de fragilidad muy altos (figura 3) y, por consiguiente, la incidencia de la desertificación podría ser muy superior a la que en estos momentos podemos imaginar. Estudios orientados al análisis y evaluación de la desertificación en Andalucía y desarrollo de modelos de previsión sobre la incidencia del cambio climático sobre la misma, se están llevando a cabo en el contexto de un proyecto Interreg IIIB en el contexto del Mediterráneo Occidental (DESERTNET II www.cma.junta-andalucia/medioambiente/)

3.¿Cómo se pueden predecir los cambios en el clima ?

Hoy nadie duda que el clima cambia en ciclos temporales más o menos largos. Todos hemos oído hablar de los cambios del clima en el pasado y sabemos que, por ejemplo, estos cambios daban lugar a la presencia de especies sobre territorios como Andalucía, que se extinguieron o que quedaron refugiados en zonas de montaña, cuando, en otros tiempos, tuvieron una mayor extensión territorial. Estos climas del pasado pueden ser conocidos a través del análisis de restos fósiles o polínicos.

En la actualidad los síntomas de que algo está cambiando a un ritmo superior al que la naturaleza nos tiene acostumbrados han disparado las alarmas y, tras constatar a nivel mundial y local, que los sistemas de medición de multitud de variables ambientales (ozono, migraciones de especies, gases de efecto invernadero, cambios en ecosistemas vegetales, deshielo de glaciares y zonas polares, acentuación de fenómenos que, hasta ahora, eran esporádicos,...) muestran algo diferente, desde todos los ámbitos se ha comenzado a intentar saber qué pasaría si se produjese un cambio de una magnitud dada en el clima que ahora nos afecta. De esta forma, en Andalucía se han llevado a cabo valoraciones de hipótesis que suponían un aumento de la temperatura en 2ºC y una disminución de las precipitaciones, y cómo esto afectaría a la vegetación natural; o también sobre posibles subidas, a unas cotas fijas, del nivel del mar y cómo esto afectaría a las costas de la región. Pero, una vez constatado que se están produciendo cambios y que estos están siendo fuertemente condicionados por la actividad humana, cualquier hipótesis hacia el futuro debe de tener en cuenta cómo va a evolucionar la actividad humana en los próximos años y cómo esto incidirá sobre el comportamiento dinámico de la atmósfera que, al fin y al cabo, es lo que condiciona los climas de la Tierra.

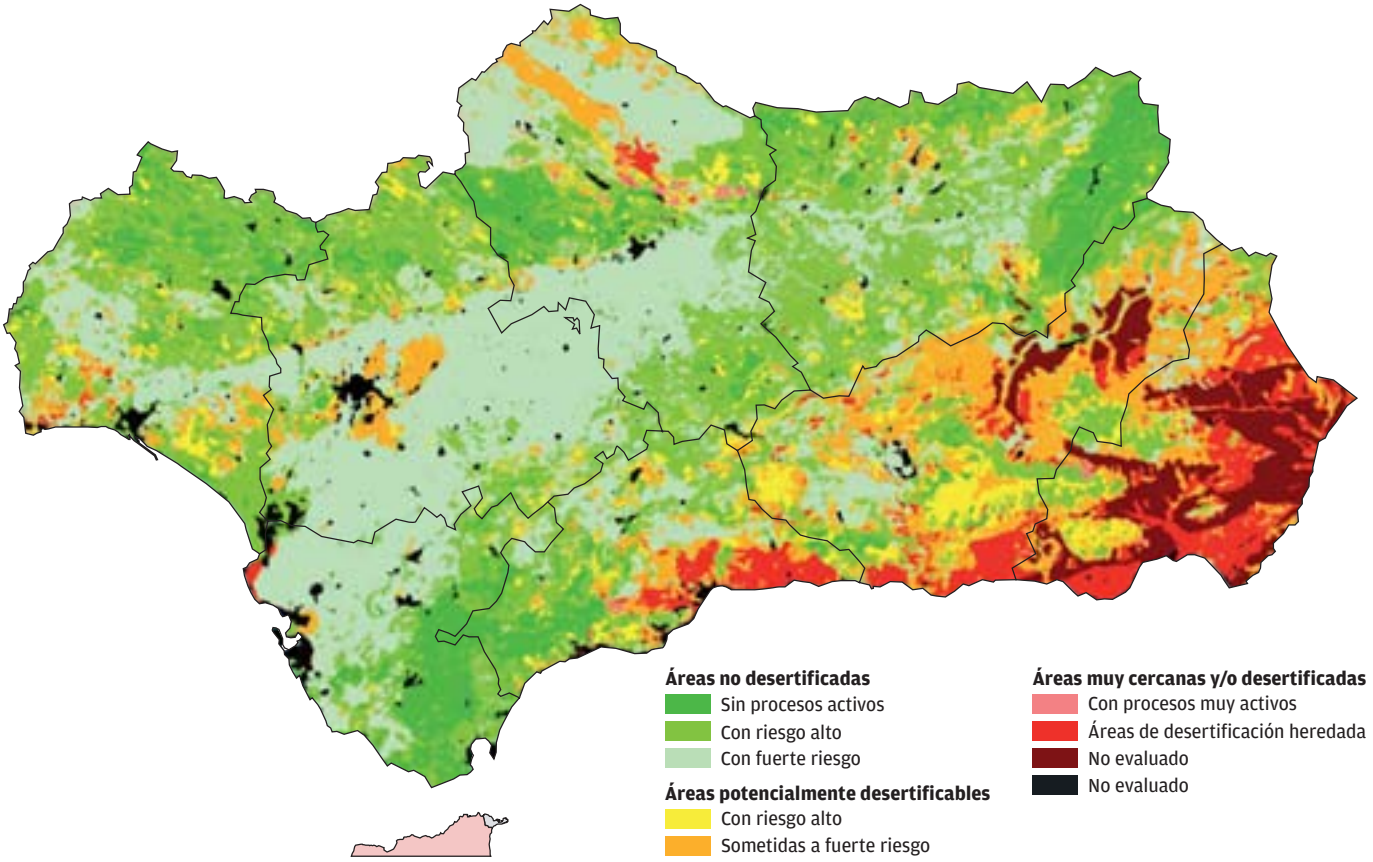
Los Modelos de Circulación General (MCGs), también conocidos como Modelos de Predicción Numérica del Clima, son la principal herramienta para la prospección del clima de próximas décadas. Simulan flujos de energía, masa y cantidad de movimiento entre los puntos de una retícula tridimensional que se extiende por la Atmósfera, los Océanos y las capas superiores de la Litosfera y la Criosfera.Estos flujos están muy condicionados por el forzamiento radiativo del planeta (energía entrante del sol/energía saliente, en función del "efecto invernadero"). A partir de datos medidos, el uso de estos modelos permiten iniciar las simulaciones a finales del Siglo XIX, con forzamientos radiativos derivados de concentraciones históricas de gases invernadero y aerosoles.
Cuando la simulación se hace hacia el futuro, (no con datos históricos conocidos), esta concentración se estima en función de previsiones de la actividad humana (desarrollo económico, políticas energéticas y forestales,...). Se utilizan, para ello, determinados escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero que han sido propuestos a nivel internacional y aceptados por el Panel Intergubernamental para el estudio del Cambio Climático (IPCC). De todos los escenarios contemplados, para el análisis realizado en Andalucía es conveniente tener presente dos de ellos, que se sitúan en los extremos de las posibilidades que, con mayor probabilidad, pueden afectarnos:

Escenario A2: describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la auto-suficiencia y la conservación de las identidades locales. La población mundial se mantiene en continuo crecimiento. El crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otros escenarios posibles. Sería casi una proyección lineal del actual comportamiento de la actividad humana.

Escenario B2: contempla un mundo en el que predominan las soluciones locales para la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población

> Periodos de crisis más fuerte de sequía en Andalucía que se muestran como algo coyuntural pueden convertirse en situaciones permanentes

RIESGO DE DESERTIFICACIÓN EN LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS ACTUALES



aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2. Aunque este escenario está orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra, principalmente, en los niveles local y regional.

Los Modelos de circulación global desarrollados por grupos de investigación de diferentes países, muestran, en las integraciones con forzamientos radiativos observados (simulaciones del clima del siglo XX), una capacidad notable para reproducir las principales características de la circulación general atmosférica, como células de Hadley, cinturones extratropicales de borrascas... Su desarrollo se realiza en base a dividir la superficie terrestre en una malla tridimensional, con un tamaño de celda que oscila entre los 200 y 500 km de lado, en las cuales se realizan complejos cálculos matemáticos, los cuales suministran información para diferentes periodos de tiempo, de cuáles serán los flujos que se producirán en ellas. Estos modelos son testados a partir de cálculos y comparaciones con datos conocidos, siendo los resultados obtenidos óptimos a nivel planetario. Cuando se chequean, sin embargo, sus resultados a más pequeña escala, por ejemplo tomando solamente unos pocos puntos de su rejilla de trabajo (escala regional), su funcionamiento no se aproxima, en general, al observado en la realidad, al menos para variables de superficie, temperatura, precipitación,... En la actualidad existen diversos modelos que son aceptados a nivel mundial, ofreciendo resultados algo diferentes entre unos y otros, destacaremos por haber sido aplicados en Andalucía, os siguientes: CGCM2 de Canadá; ECHAM4/OPYC3 de Alemania; HadAM3 de Gran Bretaña. Existen varias razones para explicar las limitaciones de estos modelos, todas ellas derivadas de la insuficiente resolución espacial de los mismos, que actualmente es de unos 2º o 3º de latitud/longitud:

a) una insuficientemente detallada descripción de la topografía (cordilleras, líneas de costa, etc.) que es considerada por los modelos y, por tanto, de los condicionamientos que ésta misma ejerce sobre el clima, de extraordinaria importancia a escala regional;

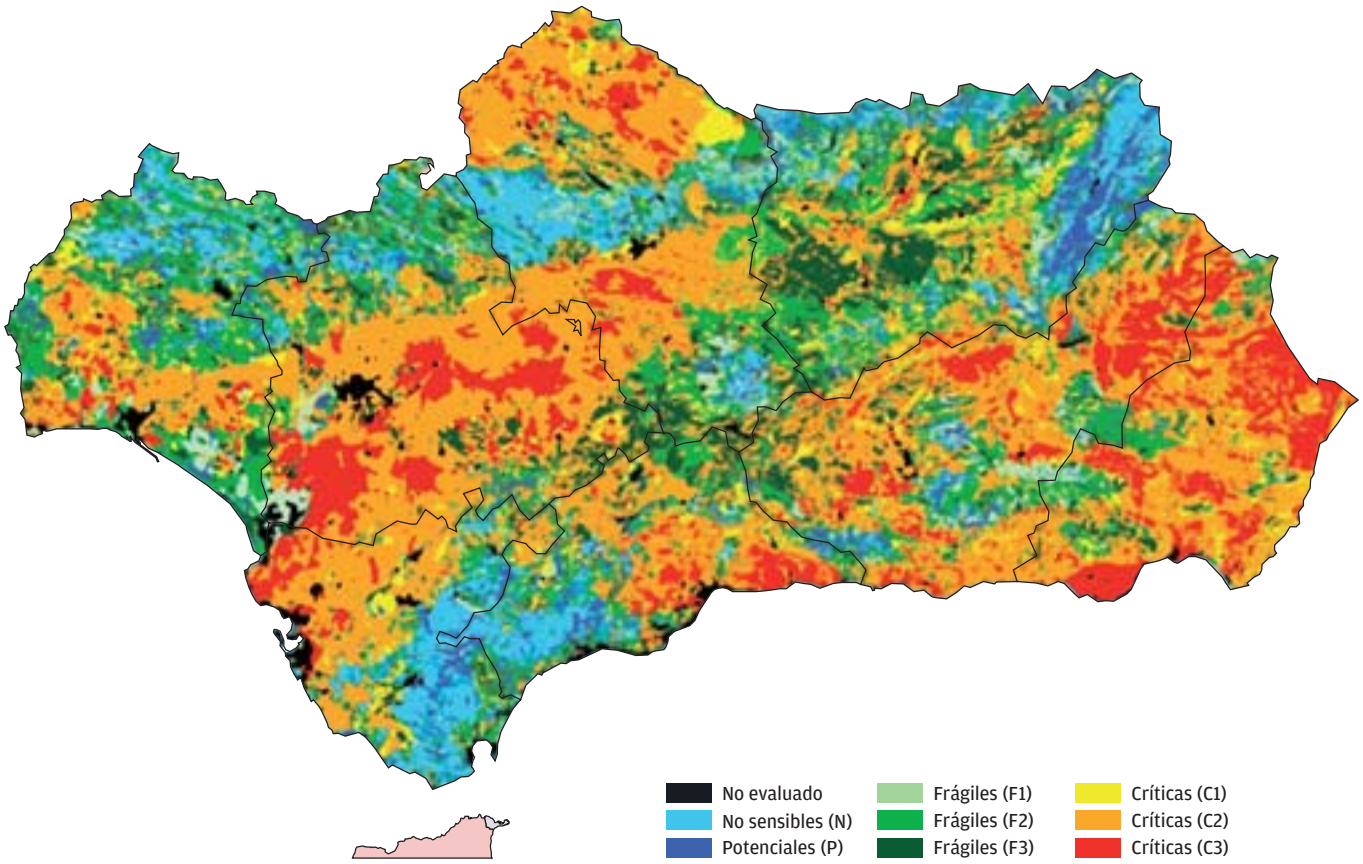
b) los procesos por debajo de la resolución de la malla, en los modelos están parametrizados. Estas parametrizaciones se han ajustado estadísticamente en todo el planeta y pueden ser ineficientes en regiones concretas; La parametrización del flujo de energía desde las escalas sinópticas (del orden de 106 km2), hacia las escalas más detalladas, afectan más fuertemente a la fiabilidad de estas escalas.

Por otra parte, en la mayoría de los estudios de evaluación de impactos se requieren escenarios climáticos con resolución local y además de variables cercanas a la superficie terrestre (temperatura a 2 m, precipitación...).

Hay dos posibles aproximaciones para dar el salto de los datos generados a escala global por estos modelos, a la escala local de Andalucía:

1. Aproximaciones estadísticas ("downscaling" estadístico). Se obtienen relaciones empíricas entre variables a gran escala, las generadas por los MCGs, y variables de alta resolución, casi siempre de efectos en superficie, que son conocidas, con series históricas a nivel local.

2. Aproximaciones por modelización dinámica ("downscaling" dinámico). Se trataría de incrementar la resolución del modelo sobre el territorio de interés, bien mediante una técnica de "zoom" de la propia rejilla del MCG, bien mediante otras técnicas matemáticas que vendrían a generar un modelo nuevo de mayor resolución.



Las aproximaciones estadísticas son menos costosas computacionalmente, pero padecen de las incertidumbres implícitas en la aceptación de la hipótesis de que los campos de efectos en superficie de alta resolución, permaneciendo fijas las características topográficas, son función exclusiva de las condiciones dinámicas y termodinámicas a gran escala de la Atmósfera.

Por otra parte, las aproximaciones de modelización dinámica, al contar con una base física más fuerte (de cualquier forma también usan parametrizaciones, que son relaciones empíricas), introducen un menor nivel de incertidumbre. En el momento actual, sin embargo, las resoluciones más altas son del orden de unos 10km, y resultan todavía claramente insuficientes para simular correctamente variables de superficie a escala local, en un territorio topográficamente complejo como Andalucía. El consumo de recursos de cálculo es asimismo elevadísimo, y pocas instituciones pueden permitirse el realizar experimentos de este tipo en integraciones largas. Debido a lo anterior, se ha optado por aplicar el denominado downscaling estadístico para calcular los escenarios futuros que pueden afectar al clima en Andalucía. El objetivo del downscaling es, pues, "traducir" la información fiable que ofrecen los MCGs (configuraciones atmosféricas), para convertirla en la información requerida sobre efectos en superficie: temperatura, precipitación,...

Los Modelos de Predicción Numérica del Clima son la principal herramienta para la prospección del clima de las próximas décadas

Las fases del proyecto, en lo relativo a la generación de escenarios de cambio climático para Andalucía, empleando estas metodologías han sido las siguientes:

■ Recogida de observaciones. La metodología planteada para la obtención de escenarios climáticos para el siglo XXI en Andalucía se basa en disponer de una conjunto de puntos con observaciones históricas lo más amplio posible y que cubra la totalidad del territorio en estudio. Las series históricas de observaciones se ponen en relación con situaciones sinópticas del comportamiento de la atmósfera correspondientes a los mismos días, por lo que el período útil de la series temporales para la obtención de escenarios verificables será el que se solape con el periodo para el que se disponen de datos de situaciones sinópticas, habiendo sido éste el periodo 1960-2000. En este proceso se han utilizado todas las estaciones meteorológicas que disponían de series de datos en el Sistema de Información del CLIMA, en total más de 2300 estaciones.

■ Filtrado de los datos. Los datos recogidos se han sometido a un filtrado de calidad para garantizar su coherencia y detectar posibles anomalías, resultando, finalmente, un conjunto de localidades, para las que se han evaluado los escenarios futuros, de más de 500.

■ Verificación de la metodología. Se ha realizado una verificación de los resultados aplicando la metodología sobre el denominado Reanálisis Europeo ERA 40, también

TABLA 1

Desviaciones de las precipitaciones medias anuales previstas para las principales capitales de Andalucía

Nombre	Media anual p2011-2040	Media anual p2041-2070	Media anual p2071-2100
Almería	16,2	-7,5	-25,3
Cádiz	-12,8	-16,0	-30,0
Córdoba	-10,3	-4,4	-20,5
Granada	-6,1	-4,7	-21,5
Huelva	-11,2	-11,6	-24,6
Jaén	-9,8	-10,9	-25,9
Málaga	-3,1	-0,9	-17,5
Sevilla	-6,1	-7,2	-21,5

TABLA 3

Aumentos de las precipitaciones previstos para algunos espacios naturales protegidos a lo largo del siglo XXI

Nombre	Precipitación media anual p2011-2040	Precipitación media anual p2041-2070	Precipitación media anual p2071-2100
Punta Entinas-Sabinar	7,11	2,41	-3,33
Laguna de Zóñar	-7,08	-11,03	-16,29
Laguna de Fuente de Piedra	-2,77	-5,10	-8,89
Embalse de Malpasillo	-3,18	-5,22	-12,76
Marismas de Isla Cristina	-8,48	-11,15	-11,30
Sierra Pelada y Rivera del Aserrador	-12,06	-13,24	-15,98
Torcal de Antequera	-0,55	-3,03	-3,35
Cabo de Gata-NÝjar	4,25	3,79	-3,77
Los Alcornocales	-6,12	-10,91	-17,77
Sierra de Grazalema	-7,39	-13,52	-21,54
Sierra de Cardeña y Montoro	-8,63	-12,90	-19,74
Sierra de Hornachuelos	-5,67	-11,01	-16,75
Sierras Subbéticas	-6,72	-11,37	-19,19
Sierra de Baza	1,27	-1,47	-4,17
Sierra Nevada	-1,01	-5,69	-10,72
Doñana	-5,50	-11,84	-15,03
Sierra de Aracena y Picos de Aroche	-9,34	-12,75	-15,88
Sierra de Andújar	-8,16	-11,86	-16,95
Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas	-6,04	-12,67	-18,94
Montes de Málaga	-1,78	-5,66	-10,94

para el periodo 1960-2000, el cual consiste en comparar las situaciones calculadas, con los datos reales del comportamiento de la atmósfera observada en dicho periodo. Estas verificaciones dan resultados que permiten calibrar la fiabilidad o margen de error de los pronósticos, siendo estos, como máximo, de entorno a dos décimas de grado para las temperaturas, y de más o menos un 25% para la precipitaciones.

■ Aplicación de resultados derivados de Modelos de Circulación General. Para desarrollar este proyecto se ha dispuesto de los datos generados por varios modelos de circulación global: como los del Canadian Center for Climate Modeling and Análisis (CCCma) CGCM2, para el periodo 1960 a 2100, y del modelo ECHAM4/OPYC3 desarrollado conjuntamente por el Max-Plank Institute for Meteorology (MPI) y el Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ) de Hamburg, para el periodo 1990 a 2100.

■ Generación de escenarios. A partir de las salidas de los MCGs para el siglo XXI, se han obtenido escenarios climáticos en Andalucía para precipitación acumulada en 24 horas (P24), temperatura máxima diaria (Tx) y temperatura mínima diaria (Tn).

Una importante aportación de los resultados de este proyecto es que se trabaja, además de con las variables directas, con variables derivadas de interés ambiental para Andalucía (Índices de sequía y desertificación, evapotranspiración, índices de riesgo de incendios, integrales térmicas, índices fitoclimáticos...), calculando las mismas para todo el siglo XXI.

4. Escenarios previsibles para Andalucía a lo largo del siglo XXI ante el Cambio Climático.

Los resultados obtenidos se muestran excelentes desde el punto de vista de su verificación para la temperatura, ya que como se comentó más arriba, la fiabilidad es muy alta. No obstante, es necesario tomar los datos con precaución ya que, para final de siglo, podríamos estar fuera del rango de aplicabilidad de la metodología. Peores resultados de validación se han obtenido para la precipitación, ya que los errores de verificación se muestran similares a los cambios simulados, lo cual sugiere manejar los escenarios con cautela. Hay que considerar que la fiabilidad final depende de la de los MCGs, y, en este sentido, se han utilizado tres de los más reputados internacionalmente, siendo los resultados ofrecidos por los tres modelos coherentes entre sí, y también la evolución temporal que muestran. Es decir, todos apuntan en la misma dirección del cambio y con similares magnitudes, aunque con algunos matices.

El escenario B2 presenta un cambio mayor que el A2 en las primeras décadas (especialmente en temperatura máxima), pero claramente menor en las siguientes. Los resultados, en promedio, coinciden con otros estudios, pero la principal utilidad de este estudio es ofrecer información a escala local (datos para más de 500 localidades). Disponer de esta información a escala local es fundamental para acometer tareas de planificación y de adaptación al cambio.

Los datos generados por estos escenarios se presentan como diferencia entre los valores promedio de las series del periodo de referencia, con respecto a las que cada uno de los modelos aplicados muestra en el futuro. Si observamos las series de datos que se han obtenido para el conjunto del siglo XXI para Andalucía, comprobaremos que, en general, subirán más las medias de la temperaturas máximas que las de las mínimas y que el orden de magnitud será variable de una década a otra, oscilando entre los 0,3ºC y los 1,5ºC por década.

Asimismo, a mediados del siglo se alcanzarán valores de +2ºC en las subidas de las temperaturas medias de las mínimas, pero un decenio antes lo habrán hecho, con la misma magnitud, las medias de las máximas.

En relación al comportamiento diferencial territorial, se aprecian cambios significativos entre las áreas costeras y el interior, siendo las zonas del noreste de Andalucía las que verán más incrementados sus valores térmicos y las de la Costa del Sol occidental y Almería las que tendrán subidas más atemperadas.

TABLA 2

Previsiones de aumento de las temperaturas medias en las principales capitales de Andalucía entre los años 2001 y 2100

Nombre	tmed 2001-2010	tmed 2011-2020	tmed 2021-2030	tmed 2031-2040	tmed 2041-2050	tmed 2051-2060	tmed 2061-2070	tmed 2071-2080	tmed 2081-2090	tmed 2091-2100
Almería	0,55	0,76	1,00	1,30	1,64	2,02	2,38	2,78	3,20	3,49
Cádiz	0,47	0,66	0,92	1,20	1,45	1,83	2,13	2,47	2,85	3,10
Córdoba	0,63	0,82	1,18	1,51	1,85	2,38	2,72	3,14	3,65	4,01
Granada	0,69	0,91	1,30	1,65	2,03	2,59	2,93	3,44	3,94	4,37
Huelva	0,48	0,67	0,99	1,27	1,54	1,99	2,27	2,64	3,04	3,35
Jaén	0,71	0,91	1,34	1,67	2,05	2,64	3,00	3,49	4,01	4,46
Málaga	0,44	0,55	0,91	1,14	1,36	1,66	1,81	2,27	2,53	2,80
Sevilla	0,57	0,78	1,13	1,44	1,75	2,26	2,60	2,98	3,46	3,78

TABLA 4

Temperatura mínimas previstas para algunos espacios naturales protegidos a lo largo del siglo XXI

Nombre	Tmin 2001-2010	Tmin 2011-2020	Tmin 2021-2030	Tmin 2031-2040	Tmin 2041-2050	Tmin 2051-2060	Tmin 2061-2070	Tmin 2071-2080	Tmin 2081-2090	Tmin 2091-2100
Corredor Verde del Guadiamar	0,47	0,65	0,89	1,20	1,43	1,81	2,07	2,40	2,80	2,99
Doñana	0,45	0,61	0,80	1,12	1,33	1,68	1,94	2,17	2,55	2,73
Laguna Amarga	0,59	0,78	1,04	1,35	1,65	2,09	2,39	2,76	3,20	3,49
Laguna de Fuente de Piedra	0,56	0,77	1,08	1,46	1,75	2,20	2,54	2,98	3,39	3,74
Laguna de Zóñar	0,54	0,73	0,93	1,23	1,54	1,96	2,24	2,53	3,00	3,28
Lagunas de Palos y las Madres	0,40	0,56	0,85	1,19	1,30	1,71	1,91	2,22	2,61	2,69
Los Alcornocales	0,58	0,76	1,02	1,32	1,58	2,01	2,36	2,69	3,14	3,40
Montes de Málaga	0,56	0,71	1,09	1,34	1,65	2,11	2,33	2,79	3,10	3,47
Río Tinto	0,51	0,68	0,97	1,26	1,50	1,94	2,23	2,58	2,99	3,22
Sierra de Aracena y Picos de Aroche	0,54	0,71	1,03	1,31	1,59	2,05	2,36	2,72	3,14	3,44
Sierra de Baza	0,53	0,68	1,00	1,26	1,55	1,95	2,15	2,59	2,89	3,26
Sierra de Cardeña y Montoro	0,61	0,76	1,06	1,34	1,64	2,17	2,46	2,81	3,25	3,64
Sierra de Grazalema	0,60	0,79	1,11	1,40	1,69	2,22	2,57	2,90	3,43	3,75
Sierra de las Nieves	0,62	0,79	1,10	1,38	1,68	2,15	2,46	2,84	3,27	3,61
Sierra Nevada	0,58	0,73	1,09	1,39	1,69	2,16	2,41	2,84	3,19	3,58
Sierras Norte de Sevilla	0,58	0,74	1,10	1,39	1,69	2,17	2,52	2,86	3,29	3,63
Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas	0,56	0,71	1,02	1,31	1,59	2,03	2,26	2,67	3,05	3,38
Sierras Subbéticas	0,54	0,72	0,97	1,26	1,54	2,00	2,27	2,67	3,09	3,37
Torcal de Antequera	0,74	0,93	1,35	1,63	2,04	2,63	2,93	3,44	3,92	4,38

Estacionalmente, todos los modelos vienen a reflejar que los aumentos de temperatura incidirán, sobre todo, en los meses de primavera y verano y menos en invierno y que este incremento será progresivo a lo largo de todo el siglo, alcanzándose al final del periodo incrementos de hasta 6-8ºC en algunas localidades de montaña de Sierra Nevada y Cazorla-Segura.

Las precipitaciones reflejan un patrón diferente. En un primer periodo las lluvias pueden llegar a incrementarse hasta un 20% en las costas del Mediterráneo, áreas de montaña de las sierras béticas y, menos, en Sierra Morena, permaneciendo estables en el resto de Andalucía. En una segunda fase, que se producirá a partir de mediados del siglo, un descenso paulatino afectará a toda Andalucía, con un decremento importante de las precipitaciones en el valle del Guadalquivir y, sobre todo en la cuenca alta del río. Al final del siglo, el comportamiento de las lluvias en Andalucía, en cuanto a su distribución territorial, muestra el mismo patrón que la sequía que afectó a la Comunidad Autónoma en 2005, permitiendo vislumbrar que las situaciones coyunturales de crisis de precipitación que se presentan actualmente, pueden convertirse en "lo normal" del comportamiento del clima en Andalucía.

En conclusión, para el conjunto de Andalucía, las precipitaciones aumentarán un 3% en el primer tercio del siglo XXI y después descenderán hasta un 7%. Son especialmente significativos los descensos en la cuenca alta del Guadalquivir y en la Cuenca Atlántica Andaluza, con valores superiores al 20%. En temperaturas se espera un aumento progresivo, más de las temperaturas máximas que de las mínimas. En el 2050 se espera un aumento medio de 1,7ºC en las mínimas y 2,2ºC en las máximas. En el año 2100 las mínimas podrían aumentar 4ºC y las máximas 5,4.

Las áreas que sufrirán un mayor aumento serán las zonas de montaña donde se prevén para 2100 aumentos de más 6ºC en las temperaturas mínimas y más de 8ºC en las máximas.

Desde el punto de vista de la incidencia que estos cambios tendrán sobre el comportamiento del clima y sobre los ecosistemas actuales, sólo hay que observar las imágenes en las que se muestra un esquema de zonificación climática actual de Andalucía y cómo los escenarios futuros pronostican la situación en que quedaremos. A finales del siglo XXI, si estos pronósticos se cumplen, el escalón diferencial de Sierra Morena con respecto al valle del Guadalquivir desaparecerá. Se homogeneizará el comportamiento de las montañas béticas, llegando a desaparecer los climas de montaña como Sierra Nevada y Cazorla, así como el de las sierras del Estrecho. Se expandirá el área de climas subdesérticos de la zona oriental y, finalmente, subirán las temperaturas de las zonas costeras atlántica y mediterránea. ■