

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 evi-

dentos 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 endémicas 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 actual-

mente 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).

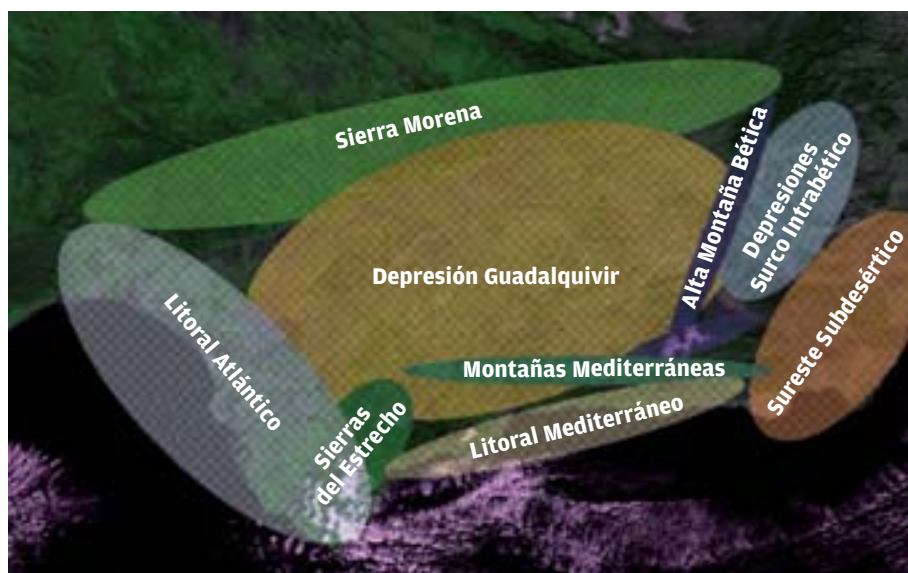
■ El coste para implementar el CLIMA ha superado los 600.000 €, invertidos a lo largo de 5 años. A través de este Sistema CLIMA, la Consejería de Medio Ambiente ha llevado a cabo un estudio sobre escenarios futuros de cambio climático que tienen en cuenta diferentes alternativas en el desarrollo económico 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 especializado 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

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA ACTUAL EN FUNCIÓN DE LAS TEMPERATURAS



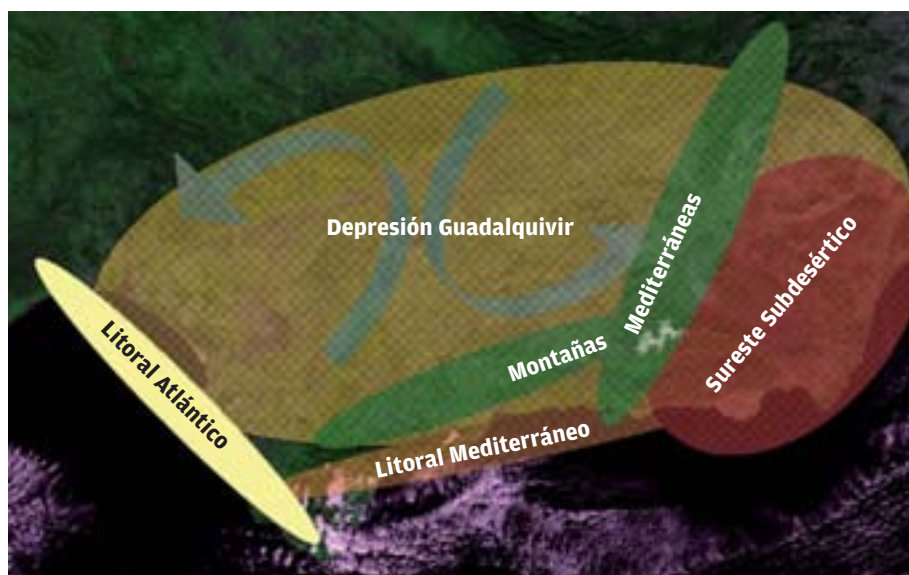
lugar a que se elaboren una gran cantidad de informes de seguimiento de este fenómeno por parte de diversas instituciones relacionadas con la gestión del agua. La Consejería de Medio ambiente ha elaborado un índice de sequía, basado en el cálculo de las anomalías pluviométricas acumuladas que se registran, 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.

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

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

minución 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 Litósfera 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:

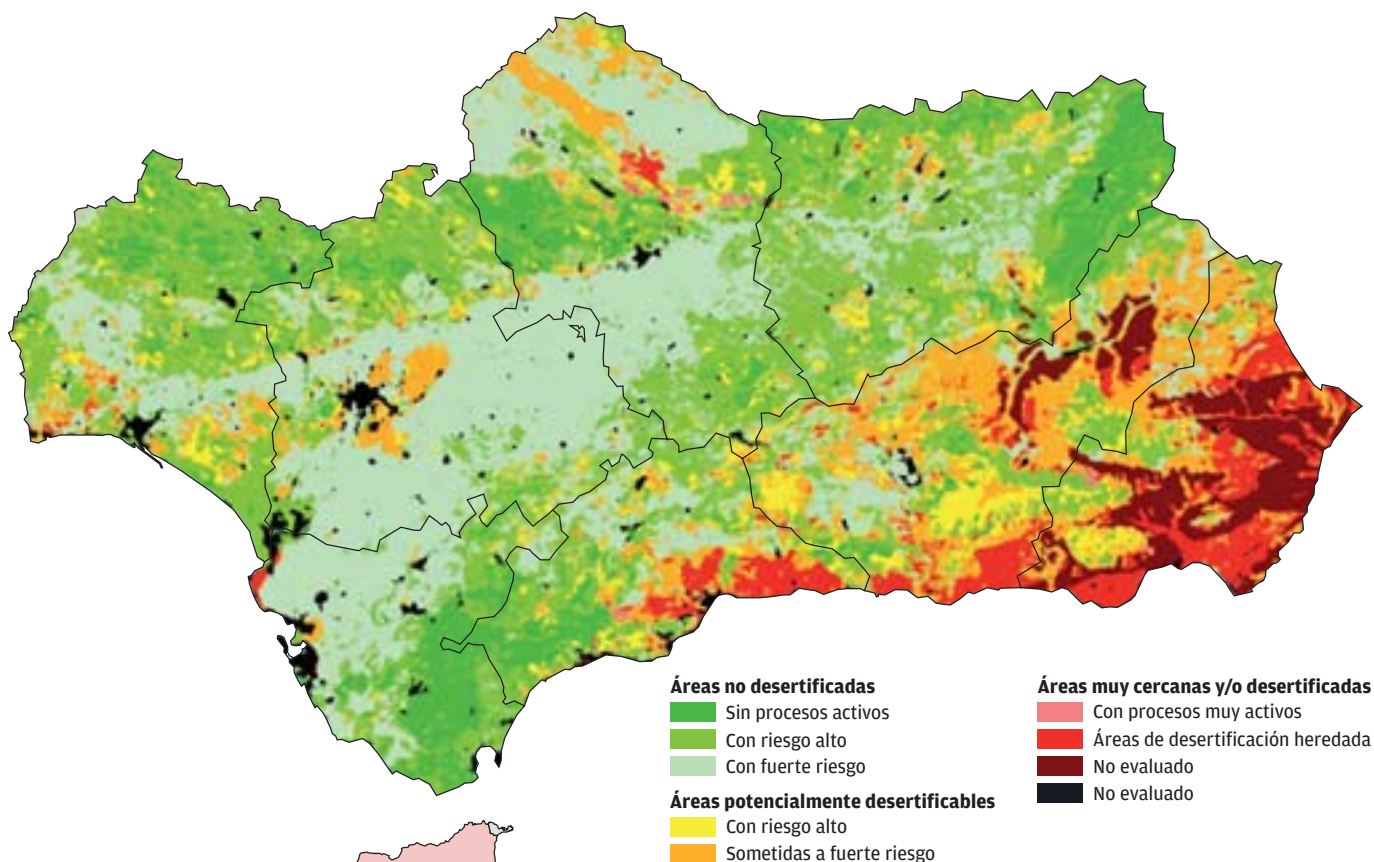
Escenario A2: describe un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la auto-suficiencia y la conservación de las identidades locales. La población mundial se mantiene en continuo crecimiento. El crecimiento económico por habitante, así como el cambio tecnológico están más fragmentados 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

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/)

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 2°C y una dis-



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 regio-

nal), 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, los 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 2° o 3° 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,

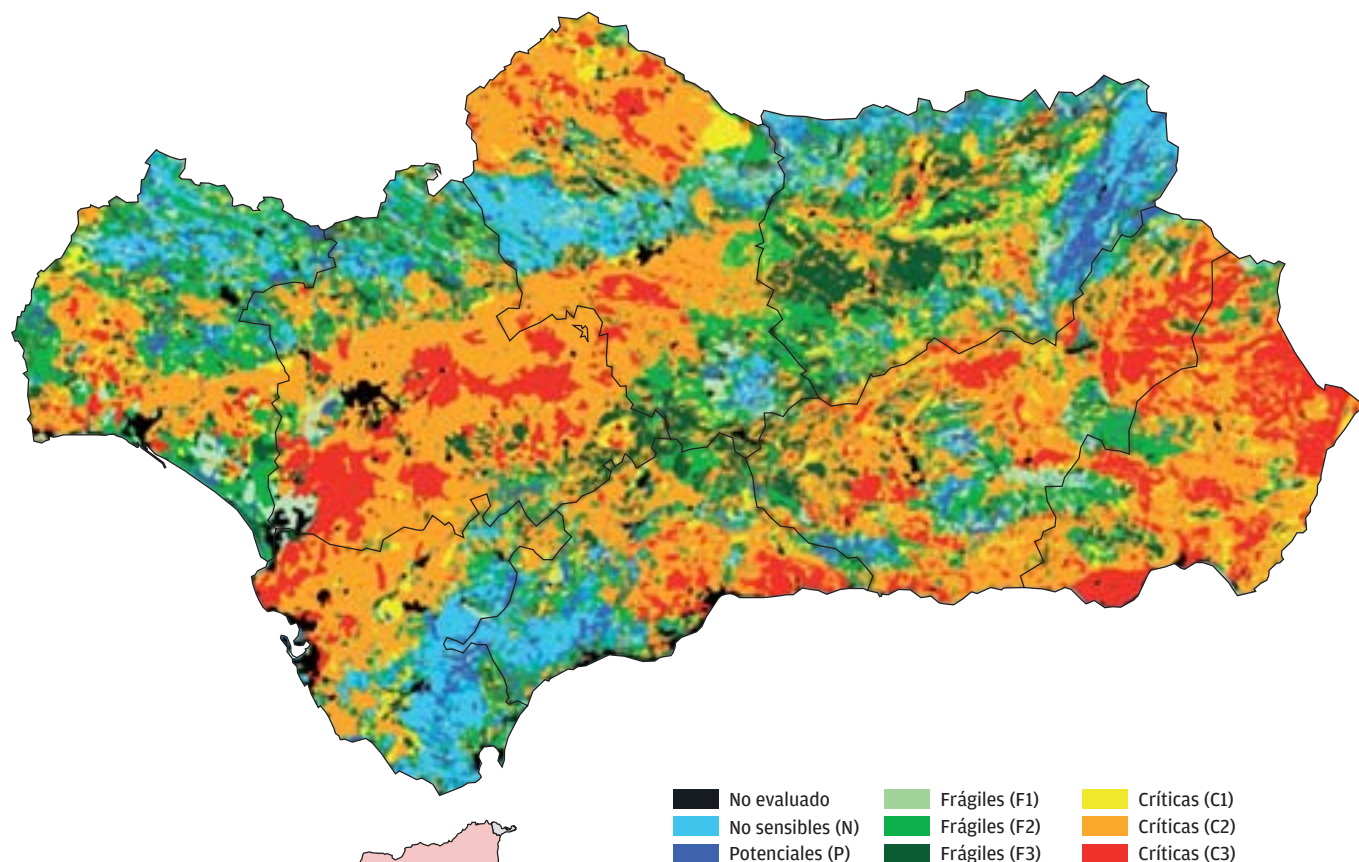
afectan más fuertemente a la fiabilidad de estas escalas.

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

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 re-

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.

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

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

querida sobre efectos en superficie: temperatura, precipitación,...

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

■ **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-Níjar	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 Analysis (CCCma) CGCM2, para el periodo 1960 a 2100, y del modelo ECHAM4/OPYC3 desarrollado con-

juntamente por el Max-Planck 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 fi-

toclimáticos...), 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 las temperaturas máximas que las de las mínimas y que el orden de magnitud será variable de una década a otra, oscilando entre los 0,3°C y los 1,5°C por década.

Asimismo, a mediados del siglo se alcanzarán valores de +2°C 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 Cardena 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 6-8°C 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 terri-

torial, 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 1,7°C en las mínimas y 2,2°C en las máximas. En el año 2100 las mínimas podrían aumentar 4°C y las máximas 5,4.

Las áreas que sufrirán un mayor aumento serán las zonas de montaña donde se pre-

vén para 2100 aumentos de más 6°C en las temperaturas mínimas y más de 8°C 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. ■