

# RECAPITULACIÓN DE LA METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS Y SU IMPACTO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS: EL CASO DE LA COMUNIDAD VALENCIANA (ESPAÑA)

Vicente Chirivella, José E. Capilla

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente, Universidad Politécnica de Valencia  
Camino de Vera s/n 46071 Valencia  
vchirivo@upv.es

**Resumen:** En los últimos años la comunidad científica internacional parece haber alcanzado un consenso respecto a la existencia de un Cambio Climático debido, en parte, a la emisión de gases de efecto invernadero (GEIs). Según la mayoría de los escenarios climáticos desarrollados, este Cambio Climático, en el ámbito geográfico de la Comunidad Valenciana, se caracterizará, en las próximas décadas, por un incremento de las temperaturas, una disminución de las precipitaciones, y un aumento de los fenómenos extremos. Ante esta situación, se hace imprescindible elaborar un modelo de gestión de los recursos hídricos que integre: a) modelos climáticos para una completa caracterización de los futuros escenarios climáticos, b) modelos de impacto para evaluar la incidencia de aquéllos sobre los recursos hídricos, y c) estrategias de adaptación ante tales impactos. En este artículo, resumimos el estado del arte en relación a la caracterización de los futuros escenarios climáticos en la Comunidad Valenciana, y en relación al conocimiento de sus impactos sobre los recursos hídricos. Se trata de una revisión cuyo objetivo fundamental es detectar áreas de mejora para futuros trabajos de investigación.

## INTRODUCCIÓN

*El agua en la Comunidad Valenciana es un bien escaso al no presentarse en las distintas estaciones del año en régimen natural en el volumen demandado, y parece que lo será más en el futuro.*

Es una evidencia que el clima, por causas naturales, ha sido, es y será cambiante. En los últimos años, la comunidad científica internacional parece haber alcanzado un consenso en torno a la idea de que a esos cambios naturales se añade, en las últimas décadas, una componente de cambio climática debida a la acción antropogénica (en concreto, debida a la emisión de gases de efecto invernadero, GEI), aunque existen voces discordantes con estas tesis. A esta componente antropogénica se atribuye el cambio climático caracterizado por un incremento generalizado de las temperaturas y, en el ámbito geográfico en el que se sitúa la Comunidad Valenciana, por una disminución de las precipitaciones; y por el aumento de los fenómenos extremos. Además,

se argumenta que los efectos de las emisiones de los GEI se manifiestan, en términos de cambio climático, varias décadas después de haberse emitido.

Esta coyuntura conduce a dos tipos de actuaciones (que no son independientes entre sí). La primera, la *Mitigación*, consistente tanto en la reducción de las emisiones de los GEIs a la atmósfera como en la promoción de su secuestro. Ahora bien, como los efectos de las emisiones de los GEI se manifiestan, en términos de cambio climático, varias décadas después de su emisión, es necesaria y de forma complementaria a la mitigación, la *Adaptación* al cambio climático. Esto exige previamente conocer cómo dicho cambio impactará sobre nuestros sectores naturales y económicos; entre ellos, sobre los recursos hídricos.

El actual estado de la ciencia presenta todavía carencias que impiden predecir con exactitud como será el clima dentro de varias décadas, incluso dentro de varios años; por tanto, no hablamos de predicciones sino de tendencias del clima. Es-

ta falta de precisión es asumible a escala global (del planeta), pero es necesario acotarla cuando lo que se pretende es evaluar los impactos de dicho cambio en un determinado sector de un determinado espacio físico - en nuestro caso, en los recursos hídricos de la Comunidad Valenciana -.

Ello exige, previamente, caracterizar, con la mayor precisión posible, el clima en nuestro ámbito geográfico, para los distintos escenarios de emisiones de GEI previstos por la comunidad internacional; cómo afectará dicho clima a nuestros recursos hídricos en régimen natural; prever distintos escenarios socio económicos que puedan afectar no sólo a la demanda de agua, sino también a los usos del suelo (que influirán tanto en el clima como en los recursos hídricos); los efectos potenciales sobre la demanda y oferta de agua; y cómo afectará al estado ecológico de las masas de agua.

En 1988 se creó el IPCC (Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático). Es una agencia especializada de Naciones Unidas, cuyo principal objetivo es realizar evaluaciones periódicas del estado del conocimiento sobre el Cambio Climático. Desde la entrada en vigor de la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMNUCC), en 1992, el IPCC es la institución científica y técnica que colabora y apoya a los órganos subsidiarios de la Convención. En los últimos años, el IPCC, ha ido acumulando evidencias (no toda la comunidad científica respalda sus teorías) del Cambio Climático y de los impactos sobre distintos sectores y sistemas del mismo. El IPCC, apoyándose en la definición de los posibles escenarios futuros de emisiones de GEIs - *Special Report on Emission Scenarios* (SRES) (Nakicenovic *et al.*, 2000) -, ha elaborado una serie de informes de evaluación del cambio climático (los últimos en los años 2001 y 2007). En ellos, basándose en modelos de circulación general acoplados océano - atmósfera (AOGCM), ha proporcionado las características a grandes rasgos y a nivel planetario de las proyecciones climáticas durante el siglo XXI. La escasa resolución espacial de dichas proyecciones las hace poco útiles para ser utilizadas por los distintos tipos de modelos de impacto: por este motivo, es necesario aplicar, sobre ellas, técnicas de regionalización (*downscaling*), a fin de aumentar su resolución espacial y temporal.

En este contexto internacional, el Ministerio de Medio Ambiente creó la *Oficina Española de Cambio Climático* (OECC). Entre sus funciones, destaca la de realizar el seguimiento de la CMNUCC e impulsar las políticas y medidas pa-

ra su correcta aplicación en España. En esa línea, elaboró el *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático* (PNACC, 2006), aprobado en julio de 2006. El PNACC pretende liderar, centralizar y apoyar a todas las administraciones y grupos de investigación en sus trabajos de evaluación de los impactos del Cambio Climático en España, en los sectores y sistemas de su interés, para su mejor planificación. Algunos de sus objetivos iniciales son: 1) Desarrollar los escenarios climáticos regionales para la geografía española, a través de la AEMET; 2) Desarrollar y aplicar métodos y herramientas para evaluar los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos en España. Entre ellos, destaca la Evaluación del impacto del Cambio Climático sobre los recursos hídricos, a través del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

El PNACC identifica a la *Agencia Estatal de Meteorología* (AEMET, antiguo INM) como el organismo encargado de coordinar el primero de los objetivos del PNACC: desarrollar los escenarios climáticos regionales para la geografía española. La AEMET ha articulado esta tarea mediante un proyecto que consta de dos fases: Primera Fase (ya finalizada), de un año de duración, y cuyos resultados se muestran en el informe *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*, de 2008. En la Segunda Fase (en desarrollo), se procederá a explorar y desarrollar nuevos métodos de regionalización, utilizando fundamentalmente la información global generada para el informe TAR4-IPCC de 2007.

El pasado dos de diciembre de 2008, se presentó la *Estrategia valenciana de cambio climático*, que supone una apuesta firme para abordar, en la Comunidad Valenciana, el reto que plantea el Cambio Climático, solidariamente con las políticas nacionales e internacionales; planteando medidas concretas en el desarrollo investigador, y en políticas de mitigación y de adaptación. En este artículo, resumimos el estado del arte en relación a la caracterización de los futuros escenarios climáticos en la Comunidad Valenciana, y el conocimiento de sus impactos sobre los recursos hídricos. Como los escenarios climáticos futuros se basan en las proyecciones obtenidas mediante modelos climáticos globales (bien directamente de ellos; o bien, a partir de ellos, mediante posteriores procesos de *downscaling*), dedicaremos los primeros apartados de este artículo a esos modelos globales y a las técnicas de *downscaling* aplicadas en la actualidad. Se trata

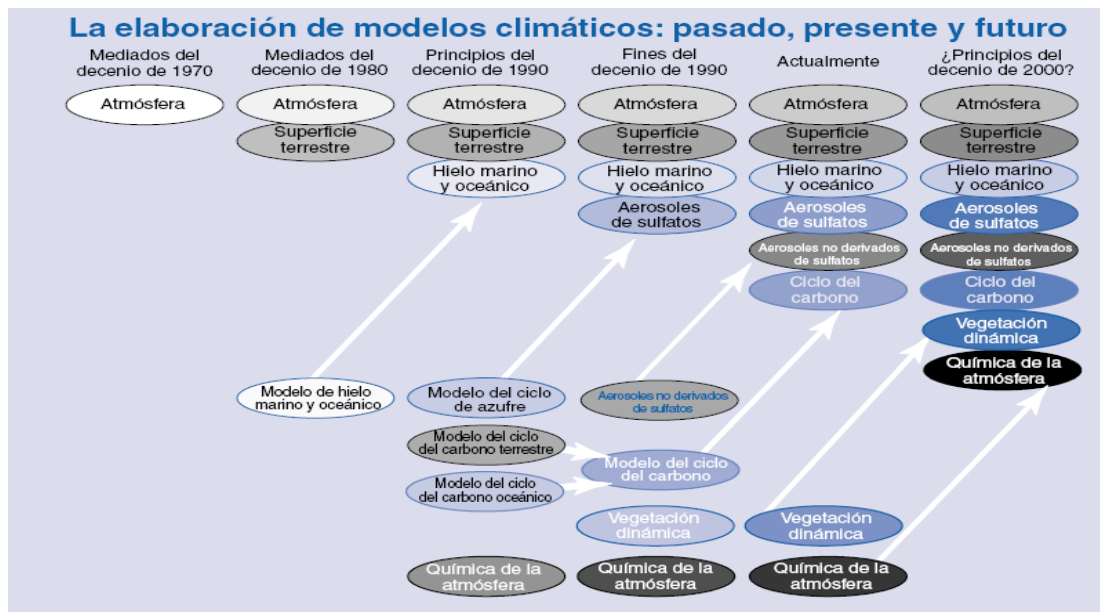


Figura 1. Evolución de los modelos climáticos. (IPCC-2001)

de una revisión cuyo objetivo final es el de detectar áreas de mejora para futuros trabajos de investigación.

## MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES Y PROYECCIONES DE CLIMA FUTURO PARA ESPAÑA

Con el paso de los años, los modelos climáticos globales han ido incorporando algunas representaciones de los cinco componentes del sistema climático: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera (Figura 1). En los modelos actuales se consideran de forma explícita los procesos atmosféricos y oceánicos, así como sus principales interacciones: son los AOGCM.

Los AOGCM (del inglés Atmosphere – Ocean General Circulation Model) resuelven numéricamente las ecuaciones matemáticas fundamentales y describen la física y la dinámica de los movimientos y procesos que tienen lugar en la atmósfera, el océano, el hielo y la superficie terrestre. Descansan, no en el uso de leyes empíricas, sino en el planteamiento de las leyes físicas del sistema: movimiento de los fluidos (Navier-Stokes), de continuidad (conservación de masa), de la termodinámica (conservación de energía) y de estado. Las variables (presión, temperatura, velocidad, etc.) necesarias para describir el estado de los subsistemas que integran el sistema climático, se proporcionan en una red de puntos que cubren el globo, habitualmente con una resolución horizontal para la atmósfera entre 100 y 300 Km., y aproximada-

mente el doble para el océano. La resolución vertical suele ser de unos 20 niveles, alcanzando los 30/40 Km. de altura, o bien niveles de varios milibares de presión. La mayor parte de los datos que suministran los AOGCM corresponden con los valores mensuales de las variables más utilizadas en estudios de impacto del Cambio Climático en superficie (temperatura, presión y precipitación) en cada una de las celdillas de la malla del modelo que cubre toda la atmósfera terrestre. En muchos casos, esta separación de puntos de red está limitada por la capacidad de los recursos computacionales. Como consecuencia de este mallado, solamente pueden hacer estimaciones climáticas para grandes periodos de tiempo y para grandes regiones de la Tierra. En la integración de las leyes físicas, los AOGCM recurren a una colección de escenarios socioeconómicos futuros que recogen los posibles comportamientos humanos en relación a: emisión de GEI, emisiones de aerosoles, cambios en los usos del suelo, modelo energético, demográfico, etc. y que afectan al clima final. El IPCC ha elaborado dos conjuntos de escenarios: los IS92 (en 1992); y otros más recientes, los SRES. Dentro de estos últimos destacan los escenarios A2 y B2 (Tabla 1). Los escenarios A2 describen un mundo muy heterogéneo. Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. Las pautas de fertilidad en el conjunto de las regiones convergen muy lentamente, con lo que se obtiene una población mundial en continuo

| Escenario | Sustancia             | Años |      |      |      |
|-----------|-----------------------|------|------|------|------|
|           |                       | 2070 | 2080 | 2090 | 2100 |
| SRES-A2   | CO <sub>2</sub> (ppm) | 635  | 698  | 771  | 856  |
|           | SO <sub>4</sub> (TgS) | 0.56 | 0.49 | 0.47 | 0.45 |
| SRES-B2   | CO <sub>2</sub> (ppm) | 531  | 559  | 589  | 621  |
|           | SO <sub>4</sub> (TgS) | 0.38 | 0.38 | 0.37 | 0.36 |

Concentraciones globales medias de CO<sub>2</sub> (en ppm de C) y de aerosol sulfato SO<sub>4</sub> (en Tg de S)

**Tabla 1.** Evolución de las concentraciones de GEIs en los escenarios SRES-A2 y SRES-B2 (IPCC-2001)

crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están más fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas. Los escenarios B2 describen un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional.

Es decir, se disponen de tantas proyecciones de clima como número de modelos de circulación general y número de escenarios simulados en cada uno de ellos.

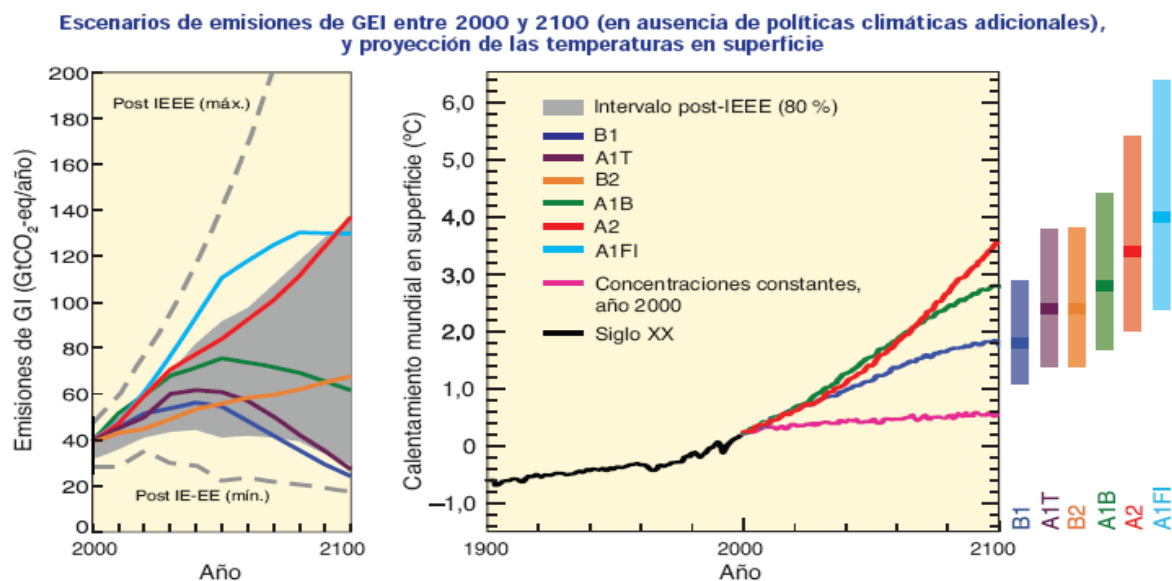
Las simulaciones con estos modelos abarcan 240 años, de 1860 a 2100. En los primeros 130 años (1860–1990) se consideran las concentraciones de los GEIs observadas en la atmósfera, junto con estimaciones de aerosoles azufrados, y a partir de ese año tienen en cuenta diferentes escenarios de emisiones. El examen de fiabilidad que presenta un AOGCM para reproducir los principales procesos en el sistema climático se realiza mediante una comparación sistemática entre resultados de simulaciones con condiciones de clima actual y datos climatológicos observados (normalmente entre 1860 y 1990), y con condiciones de clima pasado (por ejemplo, la pasada era glacial).

Como principales conclusiones de dichas simulaciones, destacar que ninguna de ellas es significativamente mejor que el resto a la hora de reproducir el clima pasado y presente; y que si bien las tendencias de todas ellas coinciden en las predicciones de futuro, se observan grandes diferencias de unas a otras. Resulta llamativo que la variabilidad entre los valores máximos y mínimos esperados con distintos modelos sea aproximadamente el doble del valor medio, siendo un claro exponente de la incertidumbre asociada a

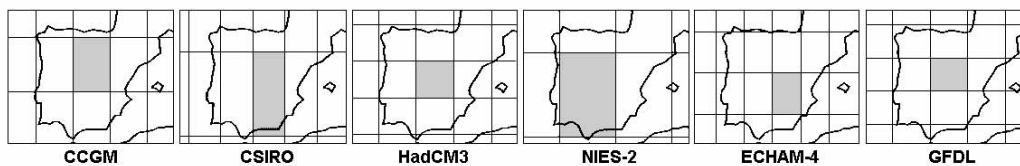
estos modelos. Estos resultados, así como la variabilidad antes comentada, se pueden apreciar en la Figura 2 extraída del cuarto informe del IPCC.

La comparación de simulaciones globales con observaciones sugiere que los modelos son bastante fiables en la reproducción de las características del clima a gran escala. Sin embargo, a escala regional, son poco fiables: distintos modelos ofrecen considerables diferencias a escala regional. Las razones que explicarían estas limitaciones a escala regional son las siguientes: el tamaño de celda (varios centenares de Km.) no recoge adecuadamente la topografía de su interior, ni permite presentar la variación de las variables en el territorio que incluye; además, los AOGCM suavizan la distribución tierra - océano; por último, el carácter general de las parametrizaciones, que no recoge las heterogeneidades presentes en la celda. Junto con estas limitaciones, se tiene que algunos de los módulos incorporados a estos modelos pretenden reproducir fenómenos naturales que no se conocen en su totalidad, como es el caso del ciclo del carbono; o dan resultados poco fiables para otros, como en el caso del ciclo del agua. Además, que reproduzcan satisfactoriamente las condiciones climáticas pasadas y actuales no garantiza que vayan a ser igualmente eficaces para las futuras; arrastran incertidumbres tales como los forzamientos naturales, los escenarios de emisiones futuras, las concentraciones futuras de GEIs, los efectos de la variabilidad natural, o la posibilidad de cambios abruptos.

Para el siglo XXI, todas las proyecciones coinciden en predecir un incremento de las temperaturas, deshielo polar e incremento del nivel de los mares. Discrepan en la variación prevista en las precipitaciones (si bien coinciden en su disminución en la cuenca mediterránea). Ante esta situación, y ante la dificultad de coordinar políticas internacionales de *mitigación*, tendentes a reducir las emisiones de GEI, predomina la



**Figura 2.** Emisiones mundiales de GEI (CO<sub>2</sub>-eq). Las líneas de trazos representan la totalidad de los escenarios post IEEE. Las emisiones abarcan los gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y F (Gráfica izquierda). Las líneas continuas representan promedios mundial multimodelo del calentamiento en superficie para los escenarios A2, A1B y B1, representados como continuación de las simulaciones del siglo XX (Gráfica derecha). (Fuente: IPCC, 2007)



**Figura 3.** Ilustración de las mallas de los seis AOGCM considerados. (Fuente: El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI, Manuel de Castro (2005))

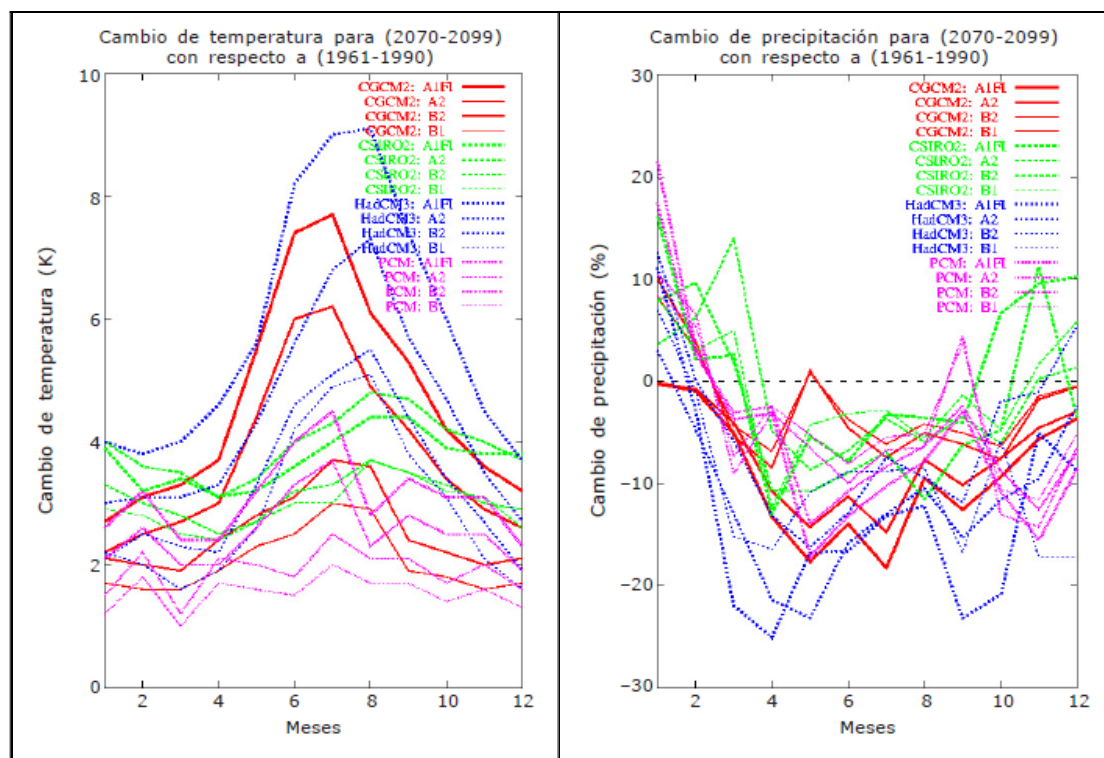
tendencia internacional de desarrollar iniciativas relativas a la *adaptación* en cada uno de los territorios, por otro lado inevitables, habida cuenta que el Cambio Climático es consecuencia de las emisiones pasadas. Para ello, previamente, se hace necesario solventar las limitaciones, a escala local, en los AOGCM, a fin de disponer de escenarios climáticos regionales con un mayor grado de fiabilidad; y, posteriormente, evaluar los impactos, a escala local, del cambio climático.

Manuel de Castro (2005) nos muestra, para la Península Ibérica, los resultados de las variaciones de temperatura y precipitación obtenidas con varios modelos globales. Como era de esperar, y siguiendo con los anteriores argumentos, los resultados son dispares, más en la precipitación que en la temperatura: los modelos prevén un calentamiento de hasta 6°C, siendo más acusado en verano que en invierno; y una disminución de la precipitación de hasta 137 mm/año,

siendo más acusada en los meses primaverales. En la Figura 3, vemos el tamaño de celda de cada uno de los modelos considerados. En alguno de ellos la Península Ibérica queda modelizada con tan solo dos celdas. La Figura 4 recoge los datos correspondientes a las celdillas sombreadas en la Figura 3.

La AEMET, en su informe de 2008 “Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España” se hace eco de la disparidad de resultados que para la Península Ibérica se obtienen con los distintos modelos globales, y los diferentes escenarios de emisiones considerados.

Hemos de destacar que todas estas proyecciones se refieren al período 2070-2100, y que por tanto, adolecen de escaso valor para el gestor de los recursos hídricos, cuyo horizonte temporal de interés se debe centrar en los próximos 10 ó 20 años a lo sumo.



**Figura 4.** Valores mínimo y máximo de cambio de temperatura media (izq.) y precipitación (der.) para el período 2070-2100 respecto al período de referencia (1961-1990) en función de los distintos meses proporcionado por cuatro modelos globales (CGCM2, CSIRO2, HadCM3 y PCM) y cuatro escenarios de emisión SRES (A1FI, A2, B2 y B1) promediando los puntos de rejilla sobre la Península Ibérica. (Fuente: MIMAM, 2008)

## MODELOS REGIONALES

### Técnicas de downscaling

La mayor parte de la literatura referente a las estimaciones regionalizadas de cambio climático se fundamenta en el denominado DOWNSCALING, y que consiste en el paso de una escala grande (la de los modelos globales) a una escala pequeña (la de los modelos regionales), introduciendo, por distintos procedimientos, las características particulares de cada región, y que no son tenidas en cuenta en los modelos globales (por el excesivo tamaño de celda y de paso temporal de estos modelos). Como alternativa, encontramos técnicas denominadas de UPSCALING: estudian la influencia de cambios a escala local / regional en el clima a gran escala. Un ejemplo simple sería cómo cambios drásticos en la vegetación de grandes regiones pueden llegar a influir en las condiciones climáticas.

En el tercer informe del IPCC de 2001 se presentan las técnicas de regionalización desarrolladas hasta ese momento. Sobre esta base (tanto de técnicas de regionalización, como

de proyecciones globales de clima obtenidas con AOGCM), la unión europea, a través del 5º Programa Marco de la Unión Europea (FP5 EU) - relacionado con modelización climática, regionalización dinámica y estadística, y estimación de extremos -, desarrolló escenarios climatológicos regionales mediante técnicas dinámicas (proyecto PRUDENCE) (Jens, 2007) y estadísticas (proyecto STARDEX) (Schmith, 2004). Parte de estas proyecciones son recopiladas en el informe de la AEMET de marzo de 2008; además, constituyen la base de las proyecciones para Europa que aparecen en el cuarto informe del IPCC de 2007. Posteriormente y dentro del 6º Programa Marco de la Unión Europea, se ha desarrollado el proyecto ENSEMBLES (Doblas-Reyes, 2005), entre los años 2005 y 2009, y que constituye el actual referente internacional del tratamiento probabilístico de las proyecciones climáticas.

El tercer informe del IPCC (2001) clasifica las técnicas de regionalización en tres grupos: 1) AOGCM de resolución alta y variable (la mejora respecto de lo ya comentado, es el empleo de celdas de menor tamaño y de menor paso tem-

poral), 2) Modelos climáticos regionales (RCM), y 3) Métodos estadísticos. Deberíamos, además, considerar un cuarto grupo de técnicas de regionalización: 4) Modelos mixtos o probabilísticas, que son los que más están proliferando en los últimos años, y que combinan las dos técnicas anteriores.

Los *modelos climáticos regionales (RCM)* son similares al módulo de cualquier AOGCM, pero se aplican a un área reducida del globo, con más resolución, es decir, discretizando espacialmente con celdillas de menor tamaño (de entre 25 y 50 km.), a fin de resaltar la simulación de las circulaciones atmosféricas y variables climáticas a escalas espaciales más finas. Se utilizan anidándolos en la malla de otros modelos globales. Por tanto, los RCM están forzados por los contornos con valores simulados por los AOGCM, por lo que no pueden corregir los errores que arrastre de aquéllos.

Para su calibración, se comparan los datos simulados por el modelo con datos reales. El tercer informe del IPCC se hace eco de estudios con modelos regionales, de los que se deduce que las diferencias entre las temperaturas observadas y las calculadas difieren en menos de 2°C, mientras que varían entre un 5 y un 50 % en el caso de las precipitaciones. Un problema frecuente es la falta de datos reales en aquellos puntos o nodos en los que el modelo discretiza el territorio. Otro problema es la falta de datos reales de variables distintas a las clásicas de precipitación y temperaturas diarias mínimas y máximas (a saber, flujos de agua). El empleo de estos modelos regionales requiere de un gran volumen de cálculo, lo que implica un claro desfase de tiempo entre la disponibilidad de resultados de los modelos globales (son la entrada de los modelos regionales) y la generación de resultados de downscaling. Así, los resultados que aparecen en el cuarto informe del IPCC (2007) sobre Europa basados en RCMs se refieren principalmente a integraciones que utilizan los modelos globales del tercer informe del IPCC de 2001.

Entre los objetivos del proyecto PRUDENCE está el proporcionar proyecciones regionalizadas de Cambio Climático en Europa mediante regionalización dinámica para finales del siglo XXI. También lo es la valoración de la incertidumbre asociada a dichas proyecciones. En él se utilizaron diez RCMs (uno de ellos, PROMES de la Universidad Complutense de Madrid, desarrollado inicialmente por Castro *et al.* (1993)), aportando simulaciones en todo el territorio europeo, pero únicamente para el último tercio del siglo

XXI al proporcionar datos diarios entre 2071 y 2100.

Para estas proyecciones, además de las variables de precipitación y temperatura, se han incluido en la base de datos otras variables de superficie, fundamentalmente relacionadas con los flujos de energía y agua (evapotranspiración, escorrentía, humedad del suelo, etc.); si bien, las relativas al ciclo del agua, carecen de la fiabilidad suficiente como para ser de utilidad.

Los *métodos estadísticos* se basan en relaciones cuantitativas entre variables atmosféricas de gran escala (predictores) y las variables locales de superficie (predictando), usualmente precipitación y temperatura máxima y mínima. Estas técnicas son relativamente simples y requieren poco cálculo, pero necesitan una base de datos observados larga y homogénea. Se basa en dos hipótesis fundamentales: primera, que las relaciones establecidas entre los predictores y predictandos son invariables frente al cambio en el clima; y segunda, que los predictores representan totalmente la tendencia del cambio climático. La principal incertidumbre de estos métodos se debe a que, con el actual estado de conocimiento, no es posible garantizar el cumplimiento de las hipótesis mencionadas.

Podemos, a su vez, distinguir tres grupos de métodos estadísticos: a) Generadores de tiempo. Son modelos estadísticos de secuencias observadas de variables climáticas. Adicionalmente a los modelos estadísticos de frecuencia de precipitación e intensidad, los generadores de tiempo suelen producir series temporales de otras variables, como temperaturas máximas y mínimas, radiación solar, humedad relativa o velocidad del viento. b) Funciones de transferencia. Son relaciones cuantitativas entre predictores y predictandos, que utilizan métodos de regresión tanto lineal como no lineal. c) Clasificadores de tiempo. Estos métodos relacionan "clases de tiempo" con las variaciones climáticas locales y regionales. La frecuencia de distribución del clima local o regional se obtiene por pesado entre los distintos estados de clima con las frecuencias relativas de las distintas "clases de tiempo". El cambio climático se estima determinando el cambio de frecuencia de esas "clases de tiempo."

El proyecto STARDEX, coordinó entre 2002 y 2005 el esfuerzo de trece centros de investigación de ocho países europeos, con el objetivo de determinar las técnicas de "downscaling" más robustas, tanto estadísticas como dinámicas - la Península Ibérica es una de las cinco zonas de estudio seleccionadas en este proyecto -, y apli-

carlas en la obtención de escenarios del clima del siglo XXI en diversas regiones de Europa, con especial énfasis en la adecuada simulación de los fenómenos extremos, que no son reproducidos adecuadamente por los modelos globales de clima ya que tienden a suavizar las características estadísticas de las variables que predicen en un área de cientos de kilómetros (obtiene un valor medio de temperatura o de precipitación, con más días de lluvia y generalmente valores menores en las magnitudes extremas que las realmente observadas).

En el caso del sureste peninsular (donde se encuentra la Comunidad Valenciana) las proyecciones obtenidas en STARDEX presentan grandes incertidumbres. Por ejemplo, en primavera, en los escenarios A2 se prevé grandes disminuciones en los valores medios y extremos de la precipitación, mientras que aumentan ligeramente en los escenarios B2; la duración de las olas de calor disminuirían, a pesar de aumentar el resto de fenómenos extremos relativos a altas temperaturas. Se concluye que esta incertidumbre está relacionada con la generalmente pobre validación de los resultados de los modelos de downscaling en esta región de España.

STARDEX junto con PRUDENCE constituye la base científica para el proyecto ENSEMBLES, y que tiene entre otros objetivos el de acotar la incertidumbre en las predicciones climáticas. Combina, con diferentes métodos de pesado, distintos modelos globales, distintos escenarios de emisiones, distintos RCMs y distintas técnicas estadísticas de regionalización. Se llega, mediante este "ensamblaje" a una predicción de consenso, más robusta que cualquiera de las que se compone. El proyecto ENSEMBLES pretende construir escenarios probabilísticos de clima durante el siglo XXI, poniendo énfasis en los cambios de los eventos extremos, con la finalidad última de poder evaluar los impactos del Cambio Climático futuro. Los trabajos son coordinados por el Hadley Centre en la Met Office en UK. Utiliza siete modelos globales, que se combinan con igual peso: se considera que todos ellos tienen la misma capacidad de reproducir condiciones climáticas pasadas.

### **Proyectos de regionalización en España (AEMET)**

En la generación de los escenarios de la AEMET de 2008, se ha partido de las simulaciones de los modelos globales del tercer informe TAR-3 del IPCC de 2001. Sobre ellos, se han aplicado técnicas de downscaling dinámico y es-

tadístico. Los escenarios obtenidos con downscaling dinámico proceden del proyecto PRUDENCE con proyecciones sólo para el último tercio del siglo XXI. Adicionalmente, se han utilizado cuatro métodos de downscaling estadístico: métodos de análogos FIC; método de análogos INM; método de regresión SDSM; y método de los índices de circulación, proporcionando escenarios climáticos para los períodos 2010-2040, 2040-2070, y 2070-2100. Los tres primeros métodos estadísticos proporcionan regionalizaciones de temperatura (máxima y mínima) y precipitación, utilizando la base de datos termo pluviométrico del INM con salidas de datos diaria; el último método proporciona datos mensuales de volumen de agua por cuencas hidrográficas. Los métodos de Análogos (FIC y INM) y el método de los índices de circulación pertenecen al grupo de los denominados *generadores de tiempo*; mientras que el método de regresión SDSM pertenece al grupo de *funciones de transferencia*. Los métodos de Análogos FIC y SDSM presentan los resultados en las estaciones, mientras que el método de Análogos INM presenta los resultados en una rejilla regular de 50 km, coincidente con la utilizada por el RCM Promes (así, toda la Península Ibérica queda modelizada en 203 puntos, y toda la Comunidad Valenciana en 15 puntos). Es importante resaltar la limitación que supone considerar puntos tan distantes entre sí, máxime en una región como la Comunidad Valenciana, caracterizada por una topografía compleja y por la alta ocurrencia de fenómenos extremos.

Según estos escenarios, las temperaturas máximas aumentan en todos los escenarios y en todas las simulaciones, más en el interior que en las zonas costeras, y más en los meses estivales. El incremento máximo previsto es de hasta 8 C en el último tercio del siglo XXI. Las temperaturas mínimas aumentan en todos los escenarios y en todas las simulaciones, pero menos que en las temperaturas máximas; sus mayores incrementos se registran en el interior peninsular y en los meses de verano. En las precipitaciones, sin embargo, los resultados son más dispares, observándose, durante el siglo XXI una reducción de las precipitaciones en la mitad meridional peninsular y principalmente en los meses de primavera. El cambio de volúmenes de agua en cuencas hidrográficas presenta grandes similitudes con el cambio de precipitación descrito. Solamente los métodos de downscaling dinámico proporcionan variables distintas de la temperatura y la precipitación, si bien algunas de ellas, en



concreto las asociadas al ciclo del agua, carecen de la suficiente fiabilidad como para considerarlas útiles.

En relación a la fiabilidad de los datos presentados, es la propia AEMET quien recomienda el uso de la mayor cantidad de proyecciones obtenidas con el mayor número de escenarios de emisiones, con distintos modelos globales, y aplicando posteriormente distintas técnicas de regionalización. De esta manera, se podrá analizar el efecto de tales proyecciones en los modelos de impacto.

### Resultados para la Comunidad Valenciana

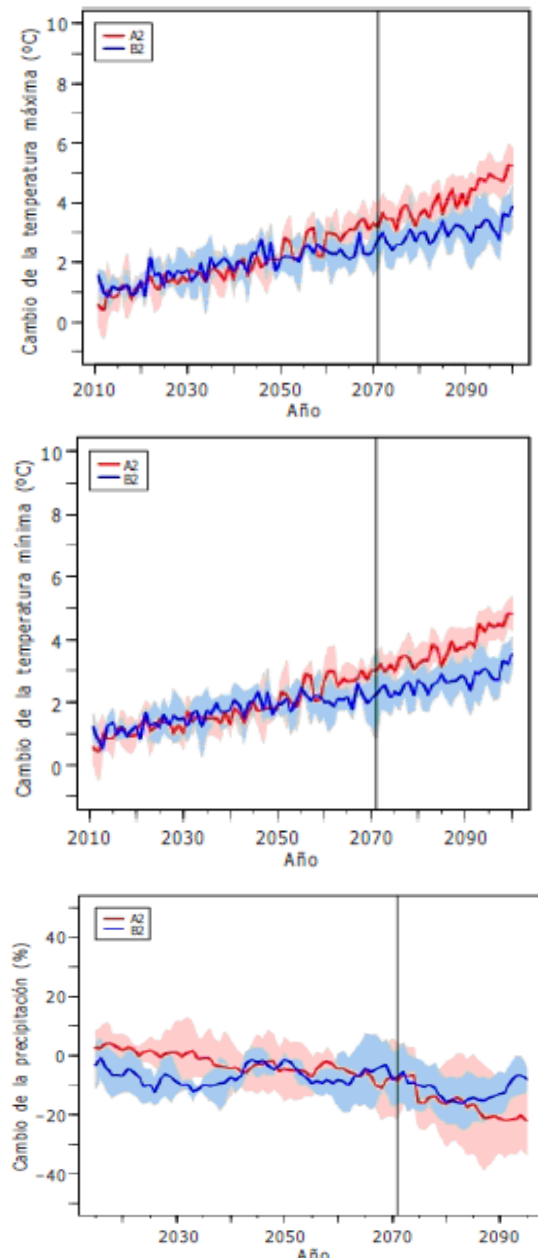
Al observar, en la Figura 5, la agregación de todas las proyecciones de temperatura máxima, mínima y precipitación para la Comunidad Valenciana (AEMET, 2008), llama la atención que pese a que tanto las temperaturas máxima y mínima muestran una clara tendencia ascendente, existe una gran dispersión entre los resultados; en relación a las precipitaciones, las proyecciones para los próximos 20/30 años muestran, no solo dispersión en los resultados, sino incluso distintas tendencias según los métodos y escenarios utilizados: unos prevén la disminución de las mismas, otros su aumento. Veremos como esta dispersión, se traslada a los resultados de los modelos de impacto.

Los estudios desarrollados por Quereda (2009) prevén, para la Comunidad Valenciana, un aumento de 0.5 °C en la temperatura, durante el siglo XXI, el mantenimiento de las precipitaciones hasta 2030, y un aumento de la desertificación en el sur, y la humidificación en el norte. Estas conclusiones se han obtenido en base al tratamiento estadístico de control y homogeneización de las series climáticas temporales, desde 1950 hasta 2007, obtenidas en el medio centenar de observatorios que componen la red regional.

González (2003) ha realizado un estudio consistente en la reconstrucción de una densa base de datos pluviales mensuales de la Comunidad Valenciana para el período 1950-2000, procedentes de 95 observatorios. Prevé una disminución de las precipitaciones anuales, y un aumento de la variabilidad estacional.

Destacar algunos estudios realizados por la Universidad de Barcelona, que si bien no se refieren a la Comunidad Valenciana, no hemos de perder de vista, debido a la similitud en la distribución de las precipitaciones otoñales en buena parte de cuenca mediterránea. Así, Martín Vide (2006) describe los motivos por los que la pluviometría en el área mediterránea de la Península

la Ibérica presenta diferencias respecto al resto peninsular, en particular las lluvias torrenciales durante las estaciones de otoño e invierno. Ello es debido al predominio de la oscilación mediterránea sobre la oscilación del Atlántico Norte. Por tanto, en los modelos a utilizar, debe contemplarse esta oscilación a fin de predecir tendencias futuras en relación a las precipitaciones en la Comunidad Valenciana.



**Figura 5.** Agregación de las proyecciones de temperatura máxima, mínima y precipitación en la C. Valenciana: evolución de los valores medios obtenidos con los distintos modelos y la dispersión, representada en forma de +/- desviación estándar alrededor del valor medio. (Fuente: MIMAM, 2008)

| Demarcación                        | Aportación<br>1940/41-1995-96 | Aportación<br>1940/41-2005-06 | Desviación respecto a<br>1940/41-1995-96 |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| Norte                              | 43.494                        | 42.737                        | -1,74 %                                  |
| Duero                              | 13.861                        | 13.533                        | -2,37 %                                  |
| Tajo                               | 10.533                        | 10.299                        | -2,22 %                                  |
| Guadiana                           | 5.464                         | 5.299                         | -3,03 %                                  |
| Guadalquivir                       | 8.770                         | 8.669                         | - 1,15 %                                 |
| Cuencas Mediterráneas de Andalucía | 2.446                         | 2.393                         | - 2,17 %                                 |
| Segura                             | 817                           | 769                           | -5,96 %                                  |
| Júcar                              | 3.493                         | 3.426                         | -1,90 %                                  |
| Ebro                               | 17.189                        | 16.630                        | -3,25 %                                  |
| Cuencas Internas Cataluña          | 2.742                         | 2.658                         | -3,06 %                                  |
| <b>España</b>                      | <b>109.948</b>                | <b>107.458</b>                | <b>-2,26 %</b>                           |

**Tabla 2.** Aportaciones medias anuales modelo LB-PHN, ampliado y desviaciones ( $\text{Hm}^3/\text{año}$ ). (Fuente: MIMAM, 2008)

Llegado a este punto, conviene reflexionar sobre las incertidumbres que venimos arrastrando en la obtención de las proyecciones regionales (recogidas en el informe de la AEMET), y que aquí simplemente enumeramos: incertidumbres en los forzamientos naturales, en las emisiones de GEIs., en las concentraciones de GEIs., en los modelos globales, estructurales, en las técnicas de regionalización, de los efectos de la variabilidad natural, por la posibilidad de cambios abruptos. Estas incertidumbres nos deben hacer pensar en la conveniencia de considerar, en los modelos de impacto, un abanico amplio de posibles escenarios de clima futuros (Dessai, EOS, 2009).

## EVALUACIÓN DE IMPACTOS EN LOS RECURSOS HÍDRICOS

### España

El cuarto informe del IPCC, de 2007, pone énfasis en el impacto del Cambio Climático sobre los recursos hídricos, al predecir una disminución de entre un 10 % y un 30 % en el promedio anual de escorrentía en algunas zonas del planeta, dentro de la cual se sitúa la Península Ibérica y, en concreto, la Comunidad Valenciana, que en la actualidad ya padece estrés hídrico. Recomienda, el IPCC, políticas de adaptación y prácticas de gestión de unos recursos hídricos que serán, en estas latitudes, cada vez más escasos.

Así, el PNACC se plantea, entre sus objetivos, el desarrollo y aplicación de métodos y herramientas para evaluar los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en diferentes sectores socioeconómicos y sistemas ecológicos en España. Destaca el de los recursos hídricos, a través de una Encomienda de gestión de la Dirección General del Agua (DGA) al Centro

de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), que se ejecuta a través del Centro de Estudios Hidrográficos de este organismo. Para dicha evaluación, el CEDEX utiliza los datos de temperatura y precipitación proyectados en los distintos escenarios regionalizados elaborados por la AEMET como datos de entrada en el modelo de impacto SIMPA. Este modelo proporciona los volúmenes de agua almacenados, en régimen natural, en cada una de las cuencas hidrográficas, para cada uno de los escenarios proyectados. SIMAPA ya se ha utilizado para comparar las series de aportaciones entre 1941 y 1995 y entre 1941 y 2005 (Tabla 2).

También es objeto del trabajo del CEDEX los estudios de los efectos potenciales del Cambio Climático en las demandas de agua (abastecimiento, industria, y fundamentalmente regadío) y en las estrategias de adaptación; el estudio del Efecto del Cambio Climático en los recursos hídricos disponibles en los sistemas de explotación; y el estudio del Efecto del Cambio Climático en el estado ecológico de las masas de agua. Esta importante labor tendrá continuidad dentro del segundo programa de trabajo del PNACC, actualmente en fase de redacción.

Con anterioridad a la elaboración del PNACC, la OECC y la UCLM presentaron, en 2005, un informe bajo el epígrafe *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático* (Moreno, 2005). En él se dedica un capítulo al Impacto sobre los Recursos hídricos. Resume los trabajos previos desarrollados por el CEDEX (1998), y Fernández (2002). En ambos casos, nos encontramos de nuevo con el problema de haber considerado, en los escenarios climáticos, modelos de circulación global y regional con un tamaño de celda excesivamente grande como para reproducir las heterogeneidades

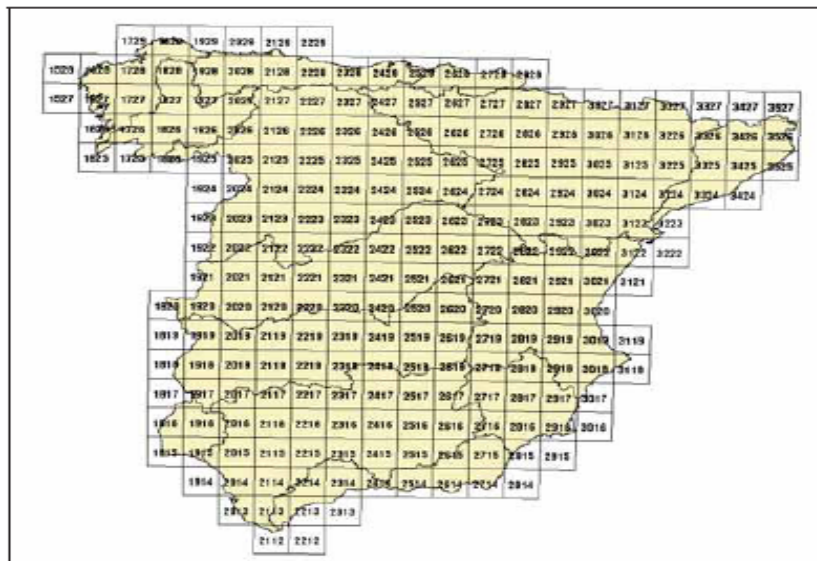


Figura 6. Celdas de cálculo del modelo PROMES. (Fuente: MIMAM, 2005)

y fenómenos extremos locales. En la Figura 6 se muestra el mallado del modelo PROMES (utilizado por el CEDEX y Fernández).

En el estudio del CEDEX (1998) se concluye, para el siglo XXI, un descenso de los recursos hídricos de entre un 5% y un 14%, de forma desigual entre las distintas cuencas, siendo más acusada en el sureste peninsular y en la España insular. Para la cuenca del Júcar, el descenso era de entre un 15% y un 20% respectivamente, para el escenario 1 (consideraba la misma concentración de CO<sub>2</sub> que la actual) y para el escenario 2 (consideraba doble concentración de CO<sub>2</sub> que la actual). En el citado estudio el CEDEX concluye que los resultados no deben de ser tomados en ningún modo como definitivos, y que están siempre sujetos a las hipótesis de partida adoptadas.

Fernández (2002) ya definía un proceso metodológico en la evaluación integrada de los impactos del cambio climático en los sistemas de recursos hídricos complejos: a) selección de escenarios climatológicos, sus salidas son las entradas para la evaluación de impactos; b) simulación del ciclo hidrológico mediante un modelo distribuido lluvia escorrentía, de escala temporal mensual, con el que evaluar la cantidad y calidad del agua en los distintos elementos del sistema hídrico; c) simulación u optimización de la gestión de los sistemas de recursos hídricos, por ejemplo con AQUATOOL (Andréu, 1996).

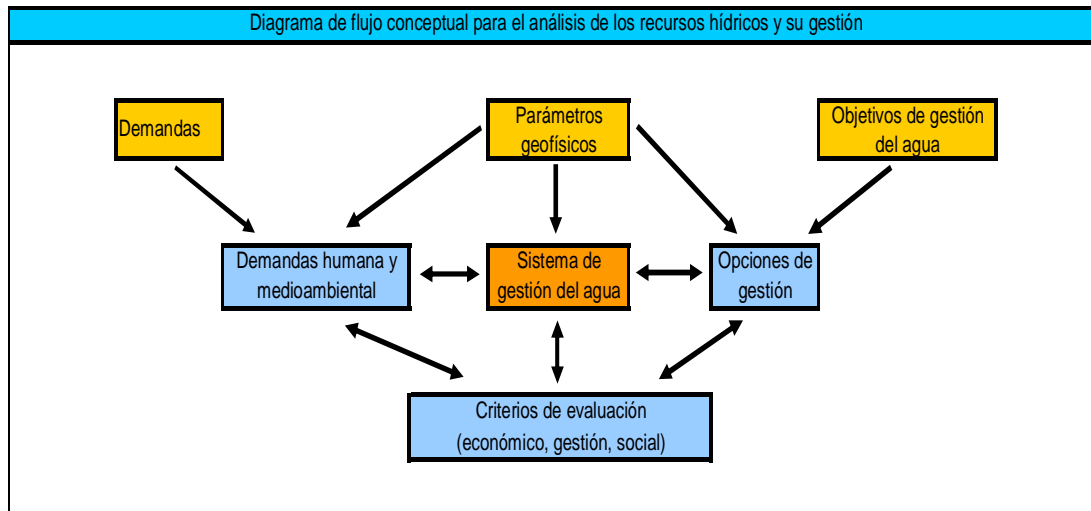
Este informe plantea opciones de adaptación ante los previsibles impactos por cambio climático, y que se pretenden desarrollar al amparo del segundo programa de trabajo del PNACC. Al-

gunos de esos impactos son el aumento de la demanda, ante el calentamiento futuro, por parte de los ecosistemas terrestres y agrícolas; la reducción de los recursos hídricos en la mayor parte de las cuencas; y el aumento de situaciones extremas: sequías y avenidas. Las medidas de adaptación consisten en el aumento de la oferta (reforestación, cosechas de agua de lluvia o rocío, embalses, transvases, uso de aguas subterráneas, desalación, reutilización); en la optimización del uso, es decir, la gestión de la demanda; y en la gestión de los recursos hidráulicos.

Con motivo de la presentación de la Estrategia Valenciana ante el Cambio Climático, el profesor Sahuquillo resumía los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos: disminución de la escorrentía y de la recarga de acuíferos; cambios en la distribución estacional de caudales por deshielo; mayor evaporación; subida nivel del mar; intrusión marina; disminución producción hidroeléctrica; pérdida de calidad de las aguas. Para combatirlos se hará necesario disponer, en el futuro, de mayor capacidad de embalse para protección contra avenidas, y de mayor capacidad de almacenamiento interanual para sequías.

### Evaluación comparada: los casos de California y Reino Unido

Es sin duda en California donde la gestión integral de los recursos hídricos, materializada en el CALIFORNIA WATER PLAN (2008), y su adaptación ante el Cambio Climático, se encuentran



**Figura 7.** Diagrama de gestión de los recursos hídricos. (Fuente: elaboración propia a partir de datos de California Water Plan)

en mayor estado de avance. Dicho programa engloba la estrategia sobre los recursos hídricos de todo el estado de California, que se divide en diez regiones hidrológicas. Sobre ellas, incorpora los escenarios climáticos futuros previstos; combina éstos con distintos escenarios socio económico, y con hasta 25 posibles estrategias distintas de gestión de los recursos hídricos, evaluando entonces el impacto económico, entre otros, sobre los recursos y los sistemas hídricos; finalmente, combina distintas opciones de suministro, usos y calidad del agua. Como resultado, se obtienen recomendaciones para la gestión eficiente de los recursos hídricos. Permite, dada la versatilidad de su concepción, adaptarse a los distintos Cambios Climáticos y de usos que pudieran producirse. En la Figura 7, se sintetiza la concepción de este modelo de gestión.

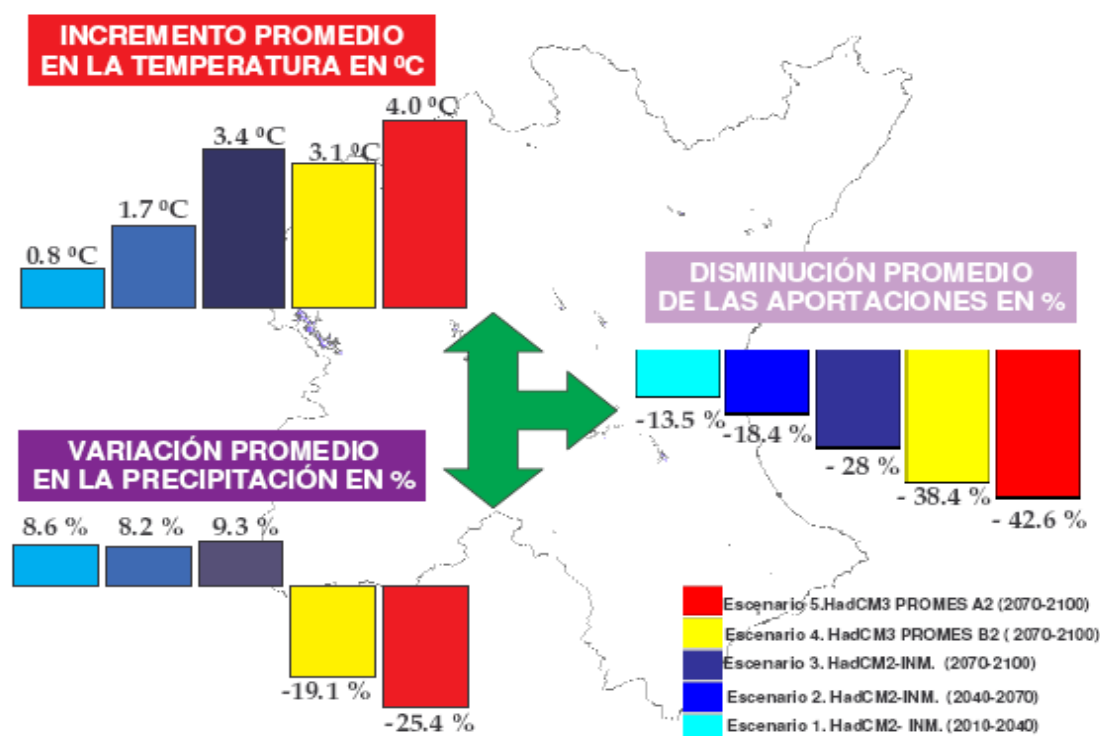
Tras California, destaca Reino Unido en los estudios de evaluación de impactos en los recursos hídricos, (UK Climate Impacts Programme, 2006). UKCIP surge para dotar a los gestores de la información necesaria sobre los impactos debidos al cambio climático y poder así adoptar las políticas de adaptación necesarias. Pretende integrar los estudios sobre modelización de Cambio Climático con los estudios de impacto, poniendo especial énfasis en la gestión de los recursos hídricos. Ha realizado algunos estudios sectoriales, sobre la influencia del cambio climático en los recursos hídricos; en concreto, para Defra (Department for Environment Food and Rural Affairs). En ellos analiza los distintos escenarios climáticos previstos, con especial cuidado en el tratamiento de los fenómenos extremos (sequías y lluvias torrenciales); considera los

distintos escenarios socio económico que puedan afectar a la demanda; y analiza distintas políticas de gestión (transferencias entre cuencas, usos del suelo, requerimientos medioambientales del agua). Para cada combinación del trinomio: escenarios climáticos - escenarios socio económicos - política de gestión, evalúa los impactos del Cambio Climático, así como las posibles medidas de adaptación.

### Estudios de evaluación en la Comunidad Valenciana

Quereda (2009), en base al escenario climático previsto por él (aumento de  $0.5^{\circ}\text{C}$  y mantenimiento de las precipitaciones), evalúa el impacto sobre las cuencas del Júcar y Segura, obteniendo una disminución de los recursos hídricos de hasta un 7%. Esta disminución aumenta hasta el 12% de los recursos hídricos si se considera un escenario de aumento de  $0.5^{\circ}\text{C}$  y disminución del 5% en las precipitaciones; y hasta el 20% considerando un aumento de  $1^{\circ}\text{C}$  y disminución del 5% de las precipitaciones.

Hernández Barrios (2007) presenta el primer estudio de sensibilidad de como las distintas previsiones de temperatura y precipitación afectarían a los recursos hídricos en la cuenca del Júcar. Considera cinco escenarios climáticos: tres correspondientes a los períodos 2010-2040, 2040-2070, 2070-2100, obtenidos con el método de análogos del INM, sobre el escenario de emisiones IS92a y el modelo general HadCM2; dos más, para el período 2070-2100, obtenidos con el modelo regional PROMES, sobre los escenarios



**Figura 8.** Disminución promedio anual de las aportaciones en % considerando los escenarios Climáticos medios con respecto a la situación actual. (Fuente: Hernández Barrios, 2007)

de emisiones SRES-A2 y SRES-B2 y el modelo general HadCM3. Dichos escenarios arrojan valores dispares en la predicción de la precipitación, menos en la de la temperatura. Con tales discrepancias entre escenarios, el resultado de las aportaciones en la cuenca del Júcar no puede ser asimismo, más dispar. En la Figura 8 se da cuenta de tales discrepancias.

La fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM) desarrolla distintas líneas de investigación sobre los impactos provocados por los fenómenos extremos debidos al Cambio Climático, tales como las precipitaciones torrenciales, los incendios forestales, las tormentas acompañadas de fuertes granizadas, las invasiones de aire frío y las nevadas. Centra sus estudios en el binomio: riesgos climáticos - ordenación del territorio. Así, ante el posible aumento de fenómenos extremos, causado por el Cambio Climático en el que estamos inmersos, la ordenación del territorio es fundamental en tanto y cuanto ha creado nuevos territorios de riesgo.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

**Modelización del clima.** Los últimos escenarios climáticos disponibles para la Comunidad Valenciana son los aportados por la AEMET (marzo

de 2008). Algunas de sus limitaciones son:

- Arrastran las incertidumbres de los modelos globales en los que se basan, principalmente debidas al excesivo tamaño de celda de aquéllos, máxime en una geografía como la de la Comunidad Valenciana, de gran heterogeneidad orográfica y climatológica, con frecuencias altas en la ocurrencia de fenómenos extremos.
- Parten de aquellos modelos globales que mejor reproducen las características climáticas de la Península Ibérica (caso de las proyecciones con métodos estadísticos), o que mejor reproducen el clima sobre zonas de Europa (caso de las proyecciones con RCMs procedentes del proyecto PRUDENCE). Sin embargo, podrían no ser los que mejor reproducen las características climáticas de la Comunidad Valenciana.
- El proceso de downscaling dinámico requiere de gran volumen de cálculo. Así, todas las proyecciones presentadas se basan en los resultados de modelos globales del tercer informe del IPCC, de 2001. Ello supone un claro desfase temporal, habida

cuenta que en 2007 el IPCC presentó un nuevo informe con nuevos resultados de los modelos globales.

- d) Las proyecciones climáticas con distintos modelos (globales) y con distintas técnicas de regionalización, ofrecen resultados distintos (más acusados en el caso de las precipitaciones); no siendo ninguno de ellos especialmente mejor al resto. Resulta llamativo que la variabilidad entre los valores máximos y mínimos esperados con distintos modelos sea aproximadamente el doble del valor medio. Además, los distintos métodos de *downscaling* ofrecen resultados en puntos de mallas distintas, por lo que resulta difícil compararlos.
- e) Los escenarios climáticos generados no tienen en cuenta técnicas de Upscaling, que permitirían explicar las disminuciones de lluvia debidas a la eliminación de bosques y desecación de humedales (Millán y Estrela, 2008).
- f) Para el período 2010-2040, el de mayor interés en las evaluaciones de impacto, sólo disponemos de proyecciones obtenidas con métodos estadísticos. Ello nos impide evaluar, en ese periodo, la bondad de la hipótesis de que las relaciones entre predictores y predictandos se mantiene en situación de cambio climático; además, en muchos casos, se carece de una extensa base de datos necesaria para la correcta calibración de los modelos estadísticos.
- g) En uno de los informes del proyecto STARDEX encontramos una clave de la falta de certidumbre sobre las proyecciones en la Comunidad Valenciana, al establecer una relación entre la incertidumbre de las proyecciones en el sureste peninsular y la generalmente pobre validación de los resultados de los modelos de *downscaling* en esta región de España.

Por tanto, sería aconsejable realizar estudios de detalle para la Comunidad Valenciana con el objetivo de reproducir y caracterizar sus singularidades geográficas y climatológicas, que deberán ser incorporadas mediante técnicas estadísticas que implementen los métodos empleados por la AEMET. Previamente, será necesario procesar los datos de los distintos escenarios climáticos facilitados por la AEMET (2008) para

la Comunidad Valenciana, tanto los correspondientes al período 2010-2040 con el fin de analizar su influencia en la variación de los recursos hídricos, como para el período 1960 - 1990, para comprobar la bondad de estos métodos para reproducir los datos históricos disponibles.

**Evaluación de impactos y estrategias de adaptación.** Una vez definidos los escenarios climáticos previstos para los próximos años, corresponde introducir éstos en los modelos de impacto (modelos hidrológicos en nuestro caso), siendo - para los gestores de los recursos - de mayor interés hacerlo con proyecciones a corto plazo (entre 10 y 20 años a lo sumo). Las limitaciones expuestas en el apartado anterior en la caracterización del clima futuro en la Comunidad Valenciana, suponen aquí una fuente adicional de incertidumbre:

- a) Así, Hernández Barrios (2007) demuestra que en la Cuenca del Júcar, la disparidad en las proyecciones climáticas se traslada a los resultados en los modelos hidrológicos.
- b) Buena parte de los resultados aportados por la AEMET son los procedentes del proyecto PRUDENCE. Estos abarcan exclusivamente el período 2071-2100.

Ya que no se han presentado resultados de evaluación de impactos sobre los recursos hídricos de la comunidad valenciana con los datos de la AEMET (2008), se hace necesario su empleo como entrada en los modelos hidrológicos. En estas simulaciones deberían introducirse las opciones de adaptación que hasta la fecha, solamente se han descrito en la literatura científica.

---

## REFERENCIAS

- Andreu, J., J. Capilla y E. Sanchis, (1996). AQUATOOL, A generalized decision-support system for water-resources planning and operational management. *Journal of Hydrology*, 177 (3-4), Abril.
- California water plan, (2008). Draft assumptions and estimates.
- Castro, M., C. Fernández y M.A. Gaertner (1993): Description of a meso-scale atmospheric numerical model, *Mathematics, Climate and Environment*. J.I. Díaz y J.L. Lions (eds.), Masson.
- Castro, M., Brunet, M., M.J. Casado, P. Galán, J.A. López, J.M. Martín, A. Pastor, E. Petisco, P. Ramos, J. Ribalaygua,

- E. Rodríguez, I. Sanz y L. Torres, (2008). Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Agencia Estatal de Meteorología.
- Castro, M., J. Martín - Vide y S. Alonso, (2005). El clima de España: Pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente.
- Dessai, S., Hulme, M., Lempert, R. y Pielke, R. jr. (2009) Do we need better predictions to adapt to a changing climate? EOS, 90(13), 111-112.
- Doblas-Reyes, F.J. y C.M. Goodess, (2005). Working paper on the need for downscaling of seasonal-to-decadal integrations within the EU-funded ENSEMBLES project. ENSEMBLES Technical Report No. 2.
- Fernández Carrasco, P., (2002). Tesis doctoral: Estudio del impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos. Aplicación en diecinueve pequeñas cuencas de España. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- González Hidalgo, J.C., Martín de Luís y J. Raventós, (2003). Variaciones estacionales de la precipitación en la costa este peninsular durante la década de los años noventa. 229-236.
- Hernández Barrios, L., (2007). Efectos del cambio climático en los sistemas complejos de recursos hídricos. Aplicación a la cuenca del Júcar. Tesis doctoral, UPV. Directores: Joaquín Andréu Álvarez y Miguel Ángel Pérez Martín.
- Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell y C.A. Johnson (Eds.), (2001). IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- J.H. Christensen, T.R. Carter, M. Rummukainen y G. Amanatidis, (2007). Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. Climatic Change, 81, 1-6.
- Martín-Vide, J., Joan-Albert Lopez-Bustins (2006), The western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian península, International Journal of Climatology, 26, 1455-1475
- M. Millán y M.J. Estrela, (2008). Meso-Meteorología mediterránea: procesos de retroalimentación climática y escenarios de cambio climático. Col. Interciencias, 34, 29-38.
- MIMAM, (2008). Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. AEMET
- Moreno, J.M., E. Aguiló, S. Alonso, M. Álvarez Cobelas, R. Anadón, F. Ballester, G. Benito, J. Catalán y M. de Castro, (2005). Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, 846 pp.
- Nakicenovic, N. y Swart, R., (Eds.), (2000). Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 612 pp.
- Pachauri, R.K. y Reisinger, A., (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza, 104 pp.
- Parry, M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson (Eds.), (2007). IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 pp.
- PNACC, (2006). Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Marco para la coordinación entre Administraciones Públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. MIMAM.
- PANCC (2008). Primer Programa de trabajo, primer informe de seguimiento. Dirección General de la Oficina Española de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Marzo.

- Quereda Sala, J., Montón Chiva, E. y Escrig Barberá, J., (2009). Escenario de cambio climático y de su impacto sobre los recursos hídricos en las cuencas del Júcar y del Segura. Congreso Nacional de la Ingeniería Técnica Agrícola, Paraninfo Universitat Politècnica de Valencia, 24-09-2009.
- Sahuquillo, A., E. Custodio e I. Escaler. Efectos hidrológicos del Cambio climático y adaptación a los cambios con medidas de gestión.
- Schmith, T., C.M. Goodess y the STARDEX team, (2004). Statistical downscaling of extreme precipitation and temperature - a systematic and rigorous inter-comparison of methods. *Geophysical Research Abstracts*, 6, 01787.
- UKCIP, (2006). Defra Research Contract: Climate Change Impacts and Adaptation. Cross-regional Research Programme (Project C - Water), Draft Final Report, 172 pp.