

LA GESTIÓN DEL AGUA EN CIRCUNSTANCIAS EXTREMAS: INUNDACIONES EN EL MEDIO URBANO

Francisco Cubillo

Subdirector de I+D+I, Canal de Isabel II

RESUMEN

Los sistemas de abastecimiento de agua a las ciudades son especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático. Independientemente de su potencial contribución a las estrategias globales de mitigación de las causas del cambio global, los sistemas deben plantear sus estrategias a nivel particular para adaptarse a los escenarios previstos. Las estrategias se deben apoyar en la revisión de las condiciones regionales de referencia para la gestión del sistema en su conjunto y en la adecuación de las políticas de adaptación mediante la revisión de las necesidades estructurales y de operación para los horizontes de futuro. Los escenarios establecidos para la Península Ibérica pueden representar incrementos en los parámetros característicos de las demandas en rangos de 1.3-3,2% por cada grado de aumento de las temperaturas máximas e implicaciones en las inversiones necesarias con aumentos de un 2% por cada grado de incremento. En la operación, la solución pasa por el empleo sistemático de procedimientos y protocolos de operación preventiva y reactiva elaborados sobre principios de gestión de riesgos para los nuevos escenario y en última instancia por la incorporación de las preferencias de la sociedad en la prácticas de precaución frente a la amenaza del cambio climático.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de abastecimiento urbano de agua tienen como cometido principal la satisfacción de los volúmenes de agua demandados en los puntos de consumo, con las condiciones de calidad y cantidad definidas por el marco legal en vigor en cada ámbito y circunstancia. Deben atender las expectativas de la sociedad en lo relativo a las condiciones de prestación del servicio y encuadrarlas con la máxima eficiencia en el contexto ambiental establecido, lo que debería repercutir en las tarifas adecuadas y en la sostenibilidad del conjunto de procesos en su sentido más general.

Los sistemas de abastecimiento atienden y reflejan un modelo de desarrollo territorial económico y social, que generalmente comporta una fuerte evolución temporal vinculada a crecimientos rápidos,. Estas evoluciones representan uno de los principales retos para los sistemas y para la adecuación oportuna de las soluciones a los aumentos de población y sus expectativas de niveles de servicio.

En este contexto, de tan fuertes componentes dinámicas, suelen ocurrir episodios que ponen en peligro el cumplimiento generalizado de las condiciones de servicio y disponibilidad de los volúmenes de agua demandados. Las modificaciones globales anunciadas como consecuencia del cambio climático añaden un nuevo factor de amenaza para el cumplimiento eficaz y eficiente del abastecimiento urbano de agua. La amenaza se enuncia principalmente en variaciones en algunas de las variables que más condicionan el suministro de agua, como son el incremento de las temperaturas, con su consiguiente repercusión en la demanda y necesidades de agua, o la variación en las precipitaciones y alteraciones en las cuantías y calidades de los flujos regionales del ciclo del agua.

La estrategia para afrontar este nuevo factor que altera las condiciones de referencia para la prestación continuada del servicio con los niveles establecidos, tiene que integrarse en las políticas de los sistemas de abastecimiento de planificación, dimensionamiento y gestión. La clave para una integración eficaz está en el empleo de principios homogéneos de valoración y gestión de riesgos, como mejor método de análisis, para asegurar el cumplimiento de unas condiciones de suministro sobre las que, en general, no existen garantías del 100%.

La gestión de los sistemas de abastecimiento tiene una fuerte componente de incertidumbre y por tanto suele formar parte de la cultura de planificación y operación en el sector, especialmente en las zonas y países con gran variabilidad climática. Las prácticas de diseño y operación de los sistemas de abastecimiento han incorporado históricamente diferentes principios de aseguramiento y eficiencia

para afrontar este tipo de problemas, según la capacidad económica de cada caso y las exigencias sociales de continuidad, estabilidad y calidad de servicio. Los procedimientos y técnicas aplicados se han ido adaptando a los nuevos marcos legales y culturales y a las necesidades derivadas de las cambiantes condiciones de cada sistema. En ese contexto, el cambio climático debe ser considerado como un factor adicional de incertidumbre a gestionar.

El primer dilema de los sistemas sometidos a niveles de riesgo significativos, es la determinación del balance entre la asignación de recursos y políticas para la resolución de episodios de incumplimiento de los niveles de servicio y para la prevención de su ocurrencia. Dicho de otro modo, la definición de las inversiones para evitar que se sucedan los episodios no deseados y los gastos de resolución de dichos episodios con la frecuencia en que ocurran.

El grado de aceptación de la frecuencia y severidad de los episodios de incumplimiento de los niveles de servicio, en normalidad, está fijado habitualmente por la normativa o establecido por el propio gestor del sistema con distintos grados de implicación de las preferencias de los ciudadanos y clientes atendidos. Pero dicho grado de aceptación de incumplimiento de los niveles óptimos no pasa de ser una mera referencia u objetivo para las labores de planificación de los sistemas, ya que la realidad tiene consecuencias más desfavorables en los contextos de gran crecimiento o de precaria capacidad económica para acometer las soluciones necesarias para adaptarse a las exigencias sociales o condicionantes de diverso tipo.

Las variaciones en la disponibilidad de recursos, como consecuencia de la ocurrencia de episodios y ciclos meteorológicos distintos de los registrados, o las variaciones no previstas en los volúmenes y pautas de distribución temporal de los mismos, son fuente habitual de situaciones de riesgo de incumplimiento de las condiciones objetivo de servicio, incluso en los sistemas mejor gestionados, ya que la implantación de las soluciones preventivas adecuadas a estos escenarios no conocidos, ni previstos, requieren plazos más largos que los que permiten anticiparse a la presentación de estas circunstancias.

La forma de afrontar estas circunstancias de riesgo ineludibles sólo puede basarse en la disponibilidad de procedimientos de reacción y resolución de estos episodios. Resolver desde la optimización de la operación aquello que no da tiempo a evitar desde las soluciones preventivas, mediante actuaciones de mejora y ampliación estructural.

Las sociedades del siglo XXI miden el grado de desarrollo, entre otros parámetros, por la capacidad para reaccionar ante estas situaciones, mediante su prevención, mitigación y resolución eficaz. Las anunciadas, y ya presentes, manifestaciones del cambio climático, vienen a intensificar las circunstancias que ponen a prueba

los sistemas hídricos y en consecuencia la necesidad de adecuar los procedimientos para su prevención y muy especialmente para su resolución.

El planteamiento ha de apoyarse en las siguientes acciones:

- Revisar y actualizar los escenarios de referencia para la planificación y diseño de los sistemas.
- Revisar y actualizar los procedimientos operacionales para la prevención de situaciones de incumplimiento de los niveles objetivo de servicio.
- Revisar y actualizar los procedimientos para la resolución de situaciones de incumplimiento de los niveles de servicio.
- Reconsiderar, con la participación de los agentes sociales necesarios, la definición de niveles de riesgo aceptados, factibles y sostenibles, en diferentes horizontes de futuro y su vinculación con los de servicio.
- Actualizar la planificación de soluciones estructurales para el aseguramiento de los niveles de servicio establecidos en los horizontes de medio y largo plazo.

El presente documento plantea una propuesta de desarrollo de cada una de estos grupos de acciones de adaptación a las consecuencias del cambio climático, sin considerar en ningún caso las intervenciones tendentes a la reducción o mitigación de las causas o los fenómenos que generan los cambios en el clima.

2. REVISIÓN DE LAS CONDICIONES DE REFERENCIA PARA LA PLANIFICACIÓN Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO

No es objetivo de este trabajo cuestionar la fiabilidad de las hipótesis que vinculan las acciones antropogénicas con las alteraciones climáticas ni plantear nuevas hipótesis al respecto. El planteamiento seguido, en cuanto a la determinación de las condiciones de referencia, se ha limitado a estimar los rangos de valores a considerar para las variables que describen el clima y que más condicionan la gestión de los sistemas de abastecimiento urbano de agua.

Para los sistemas de abastecimiento en España, la determinación de las condiciones de referencia se ha de basar en los resultados de la aplicación, en modelos regionales, de las conclusiones y predicciones de los modelos globales de impactos, aplicados a su vez sobre los diversos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero acordados en el IPCC (IPCC TAR 2001, IPCC AR4 2007).

La gestión del agua en circunstancias extremas:
Inundaciones en el medio urbano

En el caso español, la referencia oficial es la recogida en el documento del Instituto Nacional Meteorológico del Ministerio de Medio Ambiente de título “Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España” (INM 2007).

El punto de partida de dicho trabajo fue lo establecido en el informe especial sobre escenarios de emisiones elaborado por el IPCC (“Emissions Scenarios. A Special Report of Work Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Nakicenovic et al., 2000). Se recopilaban tanto las hipótesis de emisiones de gases de efecto invernadero basadas en estimaciones de densidad de población, desarrollo tecnológico y desarrollo económico, como las reflejadas en los escenarios señalados en la figura 1, con sus correspondientes valoraciones de emisiones de gases, y las reflejadas en la figura 2 para diversos horizontes temporales.

Escenario	Población	Economía	Medio ambiente	Equidad	Tecnología	Mundialización
A1FI	↷	↗	↘	↗	↗	↗
A1B	↷	↗	↗	↗	↗	↗
A1T	↷	↗	↗	↗	↗	↗
B1	↷	↗	↗	↗	↗	↗
A2	↗	↗	↘	↘	↗	↘
B2	↗	↗	↗	↗	↗	↘

Figura 1. Tendencias de los factores socioeconómicos asociados a los distintos escenarios.

Fuente. “Emissions Scenarios. A Special Report of Work Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, Nakicenovic et al., 2000

Se recopilaban fundamentalmente simulaciones realizadas en el contexto del Tercer Informe de Evaluación (TAR) del IPCC (IPCC-TAR, 2001) y las estimaciones de proyecciones climáticas resultante de los modelos acoplados océano-atmósfera de circulación general (AOGCM, de las siglas en inglés). Estos modelos proporcionan las características, a grandes rasgos, de las proyecciones climáticas con escasa resolución espacial, lo que les hace poco útiles para ser utilizadas como datos de entrada en los distintos tipos de modelos de impacto a

condiciones climáticas cambiantes. Es por ello que se necesita aplicar técnicas de regionalización a las proyecciones generadas por los AOGCMs, como paso intermedio antes de ser utilizados por los modelos de impacto.

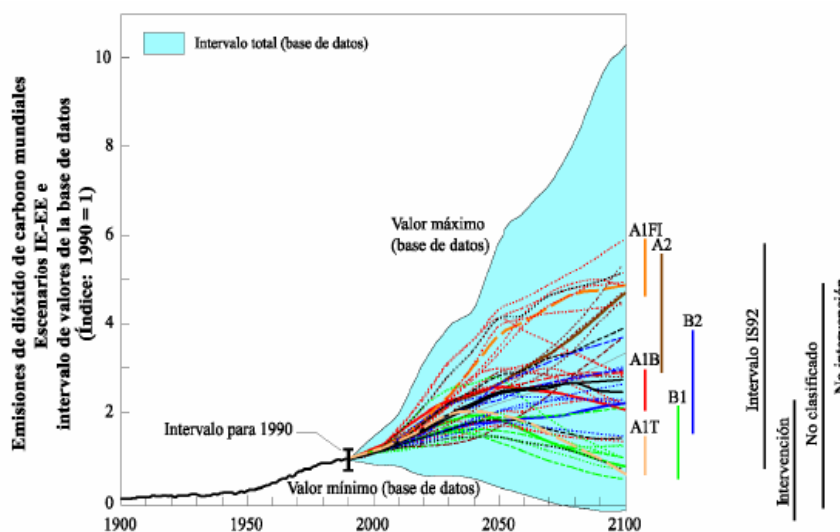


Figura 2. Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero

Fuente. "Emissions Scenarios. A Special Report of Work Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Nakicenovic et al., 2000

Los escenarios considerados se basaron en valores medios (tanto mensuales como anuales) y para intervalos de 30 años a partir de 2011. Al tomar como horizonte el año 2100 se tiene en total tres periodos: uno de 2011 hasta 2040, otro desde 2041 hasta 2070 y el último desde 2071 hasta 2100. Este abanico de horizontes incluye, en el primer período, los requeridos por la Directiva Marco Europea (DMA 2000) para la planificación hidrológica.

Las pocas decenas de AOGCM disponibles (IPCC-TAR, 2001 y IPCC-Ar4, 2007) actualmente existentes, proporcionan proyecciones de la evolución del clima con poca resolución espacial y sólo permiten hacer estimaciones de la evolución sobre grandes regiones de la Tierra, tales como el Norte de Europa o el Área Mediterránea.

A partir de los AOGCMs y con el objetivo de aumentar la precisión de las proyecciones reduciendo el tamaño de la rejilla espacial, INM 2007 procedió a

una regionalización mediante Modelos Regionales del Clima (RCM) y resultados del experimento PRUDENCE, basado en resultados de modelos globales del TAR (Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change, IPCC 2001), que ha realizado una estimación de proyecciones de cambio climático sobre la región Europea utilizando nueve RCMs pero únicamente para el último tercio del siglo XXI.

Los resultados de estas proyecciones regionalizadas constituyen la referencia principal para las políticas de adaptación al cambio climático de los sistemas de abastecimiento en España.

La comparación del comportamiento de las diferentes variables, en los distintos escenarios y para los distintos modelos, permite constatar que las proyecciones de algunas de estas son más robustas que las de otras, siempre y cuando se tome como "índice de robustez" la coincidencia de las distintas proyecciones. Éste es, por ejemplo, el caso de las temperaturas, que muestran una marcada tendencia a incrementos superiores a los de la media global, independientemente del modelo global y de la técnica de regionalización. No es éste el caso de la precipitación, donde aparecen más divergencias tanto al variar los modelos globales como las técnicas de regionalización, por lo que las proyecciones relativas a dicha variable deberán ponderarse consecuentemente.

Los resultados más recientes sobre precipitación en la Península Ibérica, a partir de modelos globales, producen variaciones de la precipitación muy moderadas, al situar nuestra zona en un área de cambio de signo de la variación esperada de las precipitaciones, es decir, en todos los experimentos la línea de cambio nulo atraviesa la península ibérica.

2.1. CAMBIOS EN LA TEMPERATURA

Las temperaturas medias mensuales y las máximas diarias son dos variables de gran repercusión para los sistemas de abastecimiento, por cuanto marcan las necesidades de las especies vegetales, los ciclos de evapotranspiración real y muchos hábitos de consumo doméstico y asimilado. La distribución anual del cambio de temperatura máxima no es igual para todos los meses. Sin embargo en todos los periodos estudiados y con los diferentes modelos utilizados, se muestra como en la zona mediterránea de Europa se producirá un mayor aumento de las temperaturas máximas en los meses correspondientes al verano y un menor aumento en los meses invernales. Es decir, los meses de verano son los que muestran mayor tendencia al calentamiento.

La gestión del agua en circunstancias extremas:
Inundaciones en el medio urbano

Es también durante estos meses cuando los diferentes modelos utilizados para la generación de escenarios muestran menor grado de acuerdo. Las razones de este comportamiento habría que buscarlas quizá en la mayor relevancia durante el verano de los procesos locales, como por ejemplo la convección, que están representados con diferentes parametrizaciones en los diferentes modelos regionales.

Como ejemplo de las conclusiones relativas a la temperatura, en las figuras 3 y 4 se muestra el aumento de la temperatura previsto, en una de las hipótesis, para los meses de verano (junio, julio y agosto) en el periodo 2071-2100 como contraposición al menor aumento de la misma en los meses de invierno (diciembre, enero y febrero).

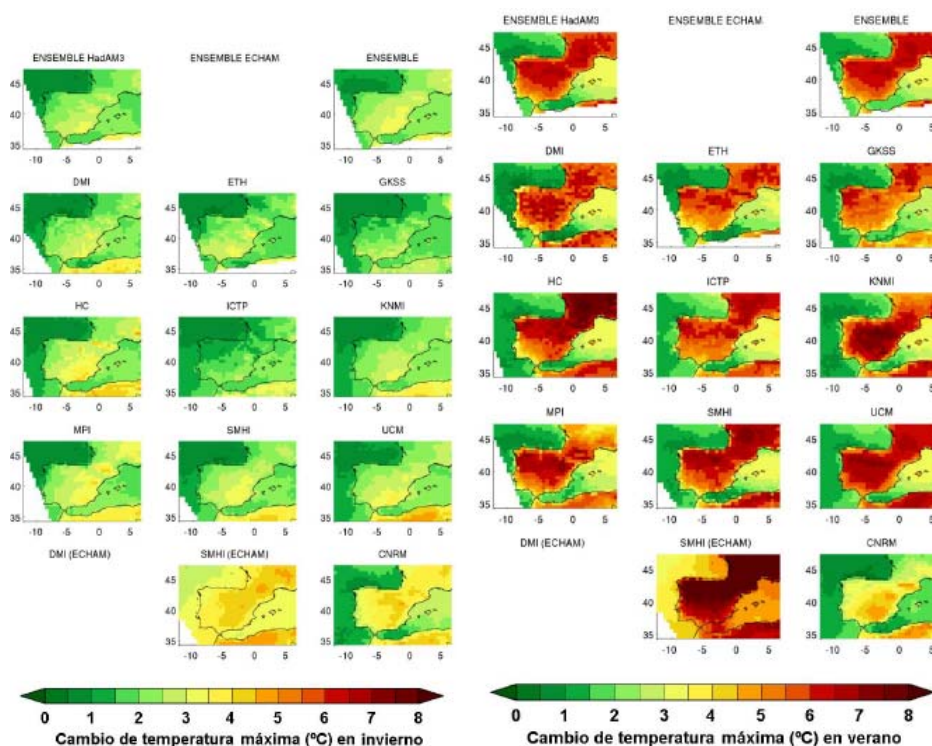


Figura 3. Distribución promedio estacional de los cambios de temperatura máxima, respecto al clima actual (1961-1990), para 2071-2100 en el escenario A2, proyectado por: 1) cada uno de los modelos regionales de PRUDENCE anidados en los modelos globales HadAM3 o ECHAM4, 2) por el promedio de todos los modelos regionales de PRUDENCE anidados en el HadAM3, 3) por el promedio de los modelos regionales de PRUDENCE anidados en el ECHAM4 y 4) por el

promedio de todas las simulaciones con los modelos regionales. (Cuando no se indica lo contrario las simulaciones toman condiciones de contorno de HadAM3)

Los resultados del informe del Instituto Nacional Meteorológico “Generación de Escenarios Regionalizados de cambio climático” (INM, 2007) confirman la relativa robustez de las proyecciones de temperatura y establece, para el escenario de emisión medio-alto de SRES-IPCC, horquillas de variación aproximadas de 1-2°C, 3-5°C y 5-8°C para los períodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente, y para las zonas del interior de la Península Ibérica, que son las que muestran mayores cambios. El escenario de emisión medio-bajo (B2 de SRES-IPCC) muestra valores aproximadamente 2°C mas bajos para el último tercio del siglo XXI. Las proyecciones del cambio de temperatura muestran también un desigual reparto del cambio de temperatura por meses, correspondiendo los valores de mayor cambio a los meses estivales y los de menor cambio a los invernales.

T max. anual (°C) (2011-2040) SRES A2

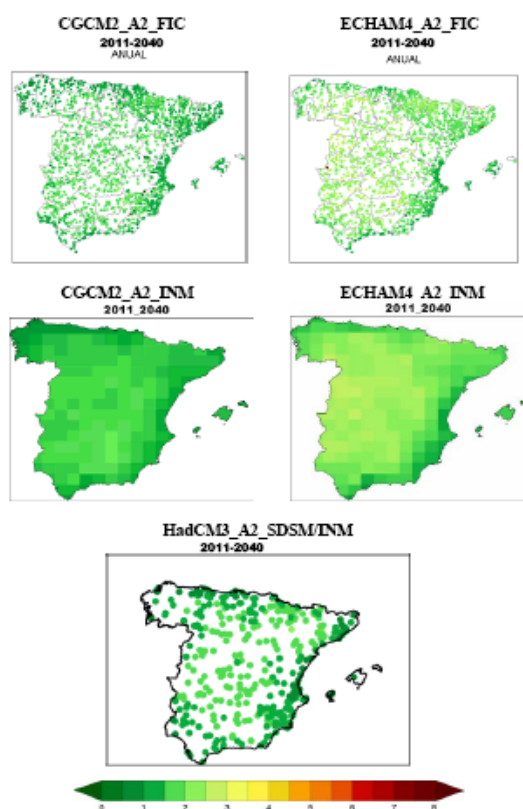


Figura 4. Comparación del cambio de temperatura máxima media anual para el período (2011-2040) respecto al período de control (1961-90) proporcionado por las proyecciones regionalizadas utilizando diferentes modelos globales (CGCM2 (izda), ECHAM4-OPYC (der.), HadCM3 (centro abajo) y diferentes técnicas de regionalización estadísticas (Anal_FIC(arriba), Anal_INM (centro), SDSM (abajo)). El escenario de emisión SRES común a todos los modelos es el A2.

2.2. CAMBIO EN LA PRECIPITACIÓN

Para el primer periodo de estudio (2011-2040) la tendencia no es tan consistente como en el caso de la temperatura, sin embargo, parece notarse una ligera reducción de la precipitación en la mitad meridional de la península ibérica y un ligero aumento en la mitad septentrional. Esta tendencia se mantiene en el segundo y tercer periodo, pero en este último, por disponer de más información, se pueden establecer unas conclusiones más robustas. En primer lugar, hay que destacar el predominio de las zonas con reducción de la precipitación, siendo las regiones de la mitad sur de la Península Ibérica las que muestran un mayor grado de acuerdo para los distintos modelos y regionalizaciones. Merece la pena destacar también que el promedio de los 9 modelos regionales de PRUDENCE muestra una reducción de la precipitación anual media para toda la Península Ibérica.

Al contrario de lo que sucedía con la temperatura, la distribución del cambio de precipitación a lo largo del año no muestra un claro patrón de comportamiento, lo que indica la relativamente baja fiabilidad de las proyecciones de esta variable. Para el promedio de los 9 modelos regionales de PRUDENCE, forzados con el mismo modelo global se muestra la misma distribución mensual de precipitación. En este caso es una tendencia a la reducción en los meses de primavera y verano. Esta tendencia puede ser poco significativa en los meses estivales, por las reducidas cantidades de precipitación, en términos absolutos, que se presentan en dichos meses.

La desviación típica del cambio de precipitación por meses, entre los 9 modelos de PRUDENCE, muestra el poco acuerdo que existe entre los diferentes modelos regionales, aunque estén forzados por un mismo modelo global. En algunos meses y regiones, la desviación típica puede ser del mismo orden que el cambio en la precipitación respecto al periodo de referencia, lo que incide una vez más en la poca fiabilidad de las proyecciones de precipitación.

La poca robustez de los resultados relativos a la precipitación consecuencia, por una parte, del error que introducen los métodos de regionalización cuando se aplican a la precipitación y, por otra, de la posición de la Península Ibérica en la

zona de transición entre las latitudes altas, en las que aumentará la precipitación, y la zona subtropical, en la que habrá reducciones de precipitación, plantea para los próximos años el desafío de la mejora de estas proyecciones que serán determinantes para muchos sectores socioeconómicos.

2.3. CAMBIO DE VOLÚMENES DE AGUA EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Como es lógico, el cambio de flujos y aportaciones en la red hidrográfica tiene una fuerte relación con los cambios en las precipitaciones y sólo se concluyen estimaciones, poco robustas, para el último tercio del siglo XXI. En general se nota un gradiente norte-sur con mayor cambio de volumen de agua cuanto más hacia el sur. A este gradiente más claro norte-sur, se le superpone también un gradiente este-oeste con un mayor cambio de volumen en las cuencas Mediterráneas del Sureste.

Al igual que sucede con la precipitación, la distribución del cambio de volumen de agua a lo largo de los meses no posee un claro patrón de comportamiento, lo que indica la relativamente baja fiabilidad de las proyecciones de esta variable.

La Instrucción de Planificación Hidrológica (MMA, 2008) establece un criterio a tener en cuenta para la incorporación de consideraciones de cambio climático en la valoración de disponibilidad de aportaciones superficiales para la elaboración de los Planes Hidrológicos de cuenca. Este criterio se refleja en una serie de porcentajes provisionales de disminución de las aportaciones naturales en cada demarcación, en tanto no se disponga de estimaciones basadas en modelos de simulación hidrológica para los diferentes escenarios resultantes de los modelos regionales. Los valores establecidos son los siguientes:

Demarcación Hidrográfica	Porcentaje de Disminución
Miño-Limia	3
Norte	2
Duero	6
Tajo	7
Guadiana	11
Guadalquivir	8
Segura	11
Júcar	9
Ebro	5

Tabla 1. Porcentajes de disminución de la aportación natural para incorporar el efecto del cambio climático

La gestión del agua en circunstancias extremas:
Inundaciones en el medio urbano

En cuanto a episodios de bajas disponibilidades de recursos debidos a períodos prolongados de sequía meteorológica, se recomienda establecer sequías de referencia con diferente grado de probabilidad de ocurrencia tomando como base los peores episodios registrados en cada sistema de explotación. En muchas zonas de la red hidrográfica de la Península se vienen manifestando períodos de bajas aportaciones cada vez más acusados y duraderos, como se observa en la figura 5, correspondiente a las aportaciones en los embalses de Canal de Isabel II. Aunque no hay un pronunciamiento sobre las variaciones previsibles en estos parámetros, como consecuencia de los escenarios de cambio climático, se recomienda emplear sequías de referencia iguales o superiores a las registradas (Rossi et al, "Methods and tools for drought analysis and management", Springer 2007) para la planificación del aseguramiento de la garantía y para la elaboración de los Planes de emergencia por Sequía ("Guía para la elaboración de Planes de Emergencia por Sequía", AEAS 2007)

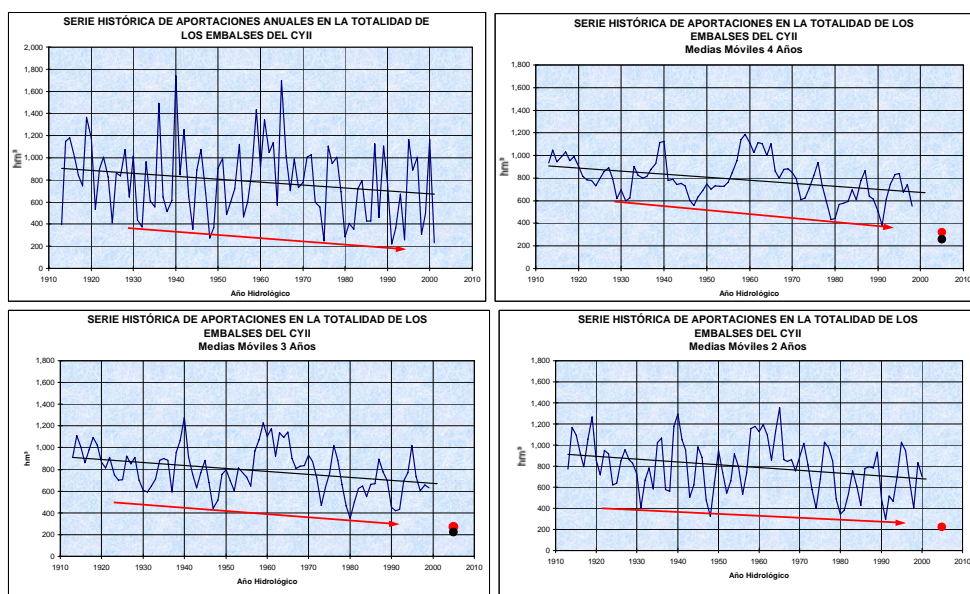


Figura 5. Series de aportaciones y episodios de menores valores en el sistema de embalses de Canal de Isabel II

Fuente. Manual de abastecimiento, Canal de Isabel II 2003

2.4. OTRAS VARIABLES

En los diferentes escenarios se prevé una reducción generalizada en la humedad relativa que es consistente con el aumento en las temperaturas. La tendencia a la reducción de la nubosidad es general para todas las regiones y épocas del año, con la excepción del NO de la península y solamente en los meses invernales. La desviación típica de la nubosidad es claramente mayor en los meses estivales, posiblemente debido al origen convectivo de la nubosidad y a las mayores discrepancias inter-modelo para este tipo de procesos.

El cambio de la evapotranspiración es consistente con el aumento de las temperaturas, sobre todo en los meses de verano y con el incremento de las precipitaciones en el norte y noroeste en los meses invernales. En algunos meses y regiones la desviación típica puede llegar a ser del mismo orden que el cambio respecto al periodo de referencia 1961-1990.

Por último, la velocidad del viento muestra un comportamiento bastante irregular, tanto espacialmente como en la distribución anual, si bien la desviación típica se mantiene relativamente baja debido probablemente al mayor peso que ejerce el forzamiento sinóptico sobre el viento y que a su vez está regido por las condiciones de contorno comunes a todos los modelos regionales. En los meses de verano el menor forzamiento sinóptico deja libertad a los modelos regionales para evolucionar más libremente y esto se manifiesta en una mayor desviación típica del viento.

2.5. IMPACTO SOBRE LAS DEMANDAS URBANAS

La primera consideración para determinar la estrategia de adaptación al cambio climático es la evaluación de los impactos que tendrán sobre la demanda de agua los escenarios considerados, para a partir de ello valorar las posibles actuaciones para garantizar el suministro adecuado de las mismas con el nivel de garantía que se decida.

En una primera etapa se debe segregar el consumo total, actual y previsto en los ejercicios de proyección de futuro, en sus diversos componentes, prestando especial atención a su dependencia de las condiciones meteorológicas. A continuación se incluye una clasificación de consumos acompañada de su sensibilidad al clima.

TIPOS DE USO

SENSIBILIDAD AL CLIMA

<i>Domésticos de interior</i>	<i>Baja</i>
<i>Domésticos de exterior</i>	<i>Alta</i>
<i>Usos institucionales</i>	<i>Alta</i>
<i>Actividades comerciales</i>	<i>Media</i>
<i>Actividades industriales</i>	<i>Media</i>
<i>Actividades lúdicas</i>	<i>Alta</i>
<i>Operación de los sistemas</i>	<i>Baja</i>

La valoración precisa de la influencia de las diferentes variables que explican el clima, en los parámetros que caracterizan la demanda, debe ser determinada para cada sistema de suministro y región, ya que depende de la configuración integral de todos los factores y agentes que conforman las actividades que usan y consumen agua.

Es necesario construir modelos matemáticos para cada uno de los componentes del consumo sensibles al clima y para cada uno de los parámetros significativos para el dimensionamiento y operación de los sistemas de suministro. En principio se deben considerar todos los componentes de sensibilidad media y alta y corroborar la independencia en los de baja.

En cuanto a los parámetros a modelizar, es imprescindible incorporar los siguientes:

- *Distribución de volúmenes mensuales de consumo en cada zona de suministro.*
- *Volúmenes máximos diarios en cada zona de distribución.*
- *Valores de consumo mensual y diario a nivel doméstico.*

En algunos casos, como en el sistema de abastecimiento del Canal de Isabel II a la Comunidad de Madrid, se han construido estos modelos y aplican para los escenarios actuales y los diferentes horizontes y escenarios de futuro.

La construcción ha partido desde la consideración de los micro componentes, o usos finales, a nivel doméstico, como se detalla en “Microcomponentes y Factores Explicativos del Consumo Doméstico de Agua en la Comunidad de Madrid” (Cubillo et al 2008). En dicho trabajo se analizaron las relaciones de variables meteorológicas con los parámetros de consumo indicados, resultando influencias como las reflejadas en la figura 6, donde se vinculó el consumo medio diario por habitante en viviendas unifamiliares en relación con la temperatura máxima y se comprobó una cierta estabilidad hasta superar los 35º, o la relación del mismo

La gestión del agua en circunstancias extremas:
Inundaciones en el medio urbano

consumo diario respecto a la precipitación en viviendas en bloque o plurifamiliares con usos exclusivamente de interior, reflejada en la figura 7, donde se identificó una dependencia significativa en esta variable en los días con precipitación superior a los 5 mm. En otras actividades y usos del ámbito doméstico de interior no se apreciaron dependencias significativas salvo en los correspondientes a duchas como se muestra en la figura 8.

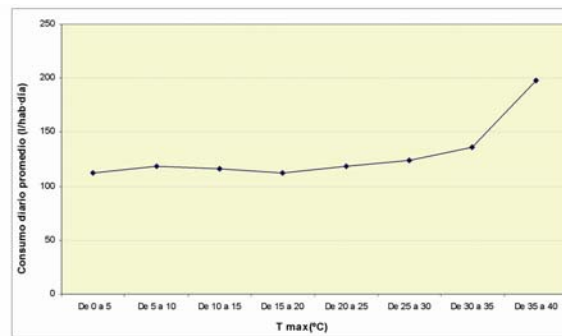


Figura 6. Efecto de la temperatura en el consumo de viviendas unifamiliares en la muestra monitorizada

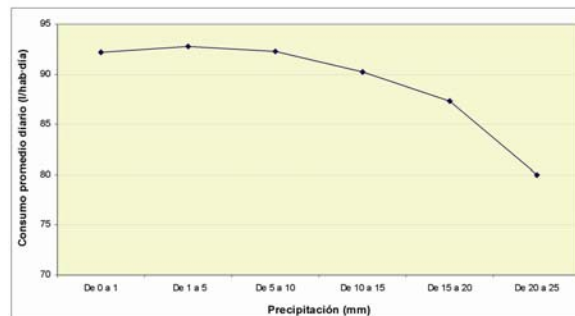


Figura 7. Efecto de la precipitación diaria en viviendas plurifamiliares en la muestra monitorizada

La gestión del agua en circunstancias extremas:
Inundaciones en el medio urbano

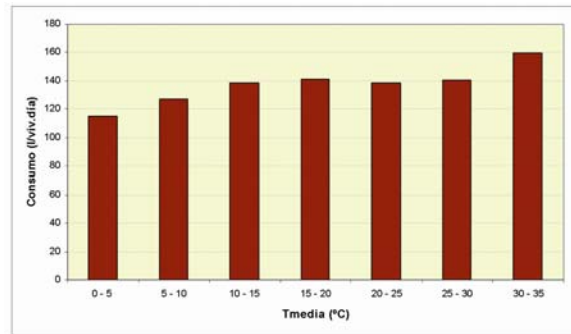


Figura 8. Influencia de la temperatura media en el consumo en duchas en la muestra monitorizada

Para la construcción de los modelos indicados se deben emplear las unidades de consumo con registros suficientes y fiables, así como con prognosis de evolución previsible de futuro. La unidad recomendada es la vivienda (con sus diferentes tipologías) y las propiedades, entendiendo por tales a cada una de las instalaciones comerciales, industriales o institucionales con actividad y consumo independientes. Para cada uno de los tipos y unidad de consumo se determinarán los valores de referencia para una situación climática de base, generalmente la correspondiente a valores medios históricos (denominada en algunos casos consumo unitario subyacente o independiente del clima y variaciones coyunturales de hábitos de consumo). La construcción de estos modelos, que debe realizarse sobre períodos de estabilidad en el resto de las variables explicativas del consumo, permitirá calcular los valores de los diferentes parámetros en los escenarios acordados para cada fin.

En la figura 9 se reflejan las oscilaciones mensuales de consumos totales registrados junto a los que hubieran correspondido a la ocurrencia de los valores extremos de precipitación y temperatura conocidos en cada período para la Comunidad de Madrid.

La gestión del agua en circunstancias extremas:
Inundaciones en el medio urbano

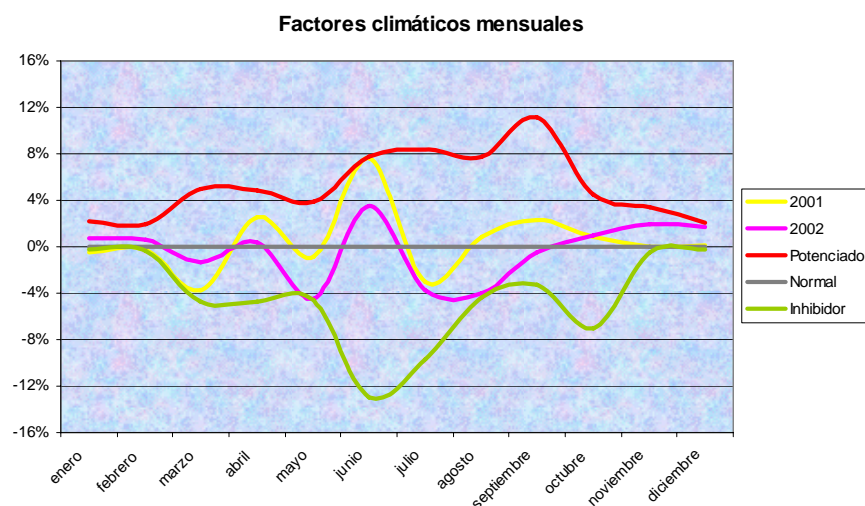


Figura 9. Porcentaje de variación en consumos mensuales en función de los factores meteorológico extremos

Fuente. Manual de abastecimiento, Canal de Isabel II 2003

Para las zonas ajardinadas, la determinación del incremento de las necesidades y consiguientes consumos de agua para cada condición meteorológica, resulta sencilla si se dispone de valoraciones locales de Evapotranspiración Potencial y de datos de superficie ajardinada junto con la identificación de tipos de especies vegetales y hábitos de riego.

Construidos los modelos, resulta inmediato el cálculo de los valores correspondientes a diferentes escenarios y condiciones climáticas.

Los escenarios de variación de temperatura máxima, para la zonas urbanas del centro de la Península Ibérica, determinarían, por cada grado de aumento en las temperaturas máximas medias, incrementos de volúmenes anuales de entre 1,3 y 1,6%, de volúmenes máximos mensuales de entre 2,1 y 2,2% y de valores máximos diarios de entre 2,8 y 3,2%.

3. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

A la incertidumbre característica de los procesos de planificación, donde no se conoce con precisión la demanda, las aportaciones, crecimiento demográfico por

localidades, etc., hay que añadirle el problema de la incertidumbre del cambio climático con fenómenos no muy definidos aún.

Las medidas de adaptación al cambio climático pueden plasmarse en actuaciones de los siguientes tipos:

- Estructurales: con implantación de soluciones capaces de mantener de forma permanente los niveles de garantía objetivo.
- Operacionales: con procedimientos que faciliten la prevención, mitigación y resolución de los posibles episodios de incumplimiento de los estándares de servicio.
- De implicación social: para afrontar y asumir situaciones con niveles de menor garantía de servicio ante inevitables o hipotéticos episodios de incapacidad para su satisfacción completa.

3.1. MEDIDAS ESTRUCTURALES

Ha sido práctica habitual de diseño de sistemas, en los contextos de suficiencia económica, la incorporación de consideraciones de holgura o garantía que rebajasen los riesgos de incumplimiento de niveles de servicio en las condiciones de referencia.

En planteamientos de gestión eficiente y muy especialmente en territorios donde son frecuentes las situaciones de escasez en la disponibilidad de recursos, el objetivo de las inversiones no debe ser reducir a 0 el riesgo, ya que no resultaría factible o representaría unos costes no asumibles por la sociedad. Los sistemas de regulación de aportaciones naturales se diseñan para superar sequías en los peores registros, con una única aparición en los últimos 60 años, y las infraestructuras de abastecimiento son diseñados para satisfacer la demanda de casos que se dan sólo el 1% de los días del año. El cambio climático parece que va a afectar en gran medida precisamente a esos días de mucha demanda, ya que las temperaturas máximas medias serán mayores y las precipitaciones más escasas. Por ello el aumento en los parámetros que caracterizan la demanda son esenciales para la revisión del dimensionamiento de las infraestructuras e inversiones necesarias para implantarlas.

Las medidas estructurales para incorporar las consideraciones de cambio climático se integrarán entre las que se empleen para el dimensionamiento de las infraestructuras y actuaciones para la satisfacción de los niveles de garantía de suministro y distribución, tanto en la disponibilidad de volúmenes demandados

La gestión del agua en circunstancias extremas:
Inundaciones en el medio urbano

como en la continuidad de las condiciones hidráulicas y de calidad en el suministro.

El ejercicio consistirá en determinar los niveles de garantía y servicio objetivo, identificar las hipótesis de disponibilidades de recursos en cada situación y escenario climáticos, valorar los nuevos patrones y parámetros que caracterizan el consumo en dichas hipótesis y determinar las necesidades de actuación para cumplir los objetivos de garantía.

Existe una vinculación entre los distintos componentes y factores explicativos del consumo y los parámetros que lo caracterizan y sirven de base para el diseño de infraestructuras de suministro y gestión de los sistemas, que se ha resumido en la figura 11.

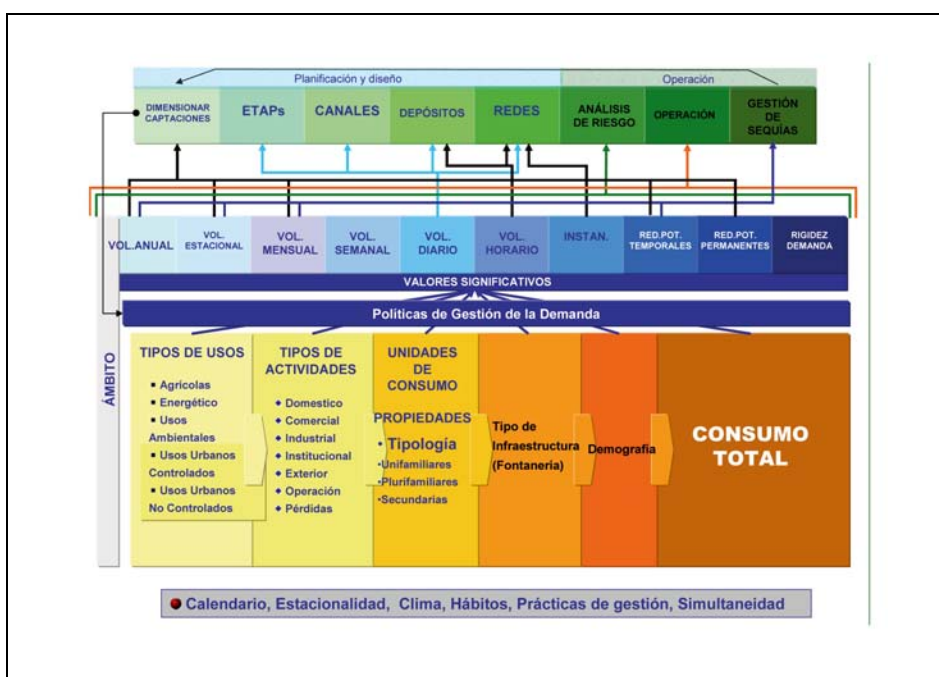


Figura 11. Vinculación de factores explicativos de consumo, parámetros característicos y elementos de diseño y operación.

A modo de ejemplo se han calculado los incrementos de inversión por aumento de necesidades de infraestructuras para atender a los volúmenes anuales y máximos mensuales y diarios que resultarían para los escenarios señalados en el capítulo 2.

La satisfacción de los incrementos de volúmenes totales anuales de demanda tendrían el coste de los m³ marginales correspondiente al nivel medio de las soluciones para la satisfacción del equilibrio entre disponibilidades y demandas establecido en la garantía acordada. En general las soluciones en el entorno de la Comunidad de Madrid, con un alto grado de utilización eficiente de las disponibilidades de recursos en su entorno próximo, se sitúan en el entorno de los 40 céntimos de euro por cada m³ marginal.

Ante la posibilidad de aumento de la frecuencia e intensidad de episodios de lluvias torrenciales, que provocarían avenidas severas, es necesario que se replanteen los niveles de resguardos de los embalses necesarios para laminar dichas avenidas lo que conduciría inevitablemente a una pérdida de la capacidad de regulación y a la necesidad de nuevas soluciones y m³ marginales para mantener la garantía de suministro. Las mayores solicitudes de desagües con fines ambientales desde los embalses de abastecimiento a poblaciones serán fuente de pérdida de garantía con implicaciones similares a las de los mayores resguardos para laminar avenidas.

El cumplimiento de la continuidad en el suministro, vinculada a los valores máximos mensuales y diarios, requeriría un incremento en inversiones en infraestructuras estratégicas de tratamiento, transporte y distribución que se ha estimado en el entorno de un 2% por cada grado Celsius de incremento en la temperatura máxima diaria. Los incrementos señalados para los horizontes de mediados de siglo representan aumentos de inversiones sobre las condiciones actuales del orden del 10%.

3.2. MEDIDAS OPERACIONALES

Las medidas de flexibilización de la operación y de establecimiento de protocolos para la prevención, identificación y resolución de situaciones de incumplimiento de los niveles objetivo de servicio, son recomendables tanto si son el resultado de una estrategia para afrontar los escenarios previstos de cambio climático, como si son una estrategia de precaución frente a situaciones no previstas, o para la simple adaptación coyuntural a los mayores riesgos, que pesarán sobre los sistemas en tanto se implementan de forma eficaz las soluciones estructurales decididas.

Para implantar estos procedimientos es necesario empezar por la identificación, para los horizontes de plazo corto e inmediato, de los valores que pueden alcanzar las variables vinculadas al clima y sus consiguientes repercusiones en los

parámetros del consumo y sus distribuciones temporales y espaciales. Estos valores deberán ser complementados con evaluaciones rigurosas de las elasticidades coyunturales potenciales del consumo y las medidas para estimular dichas elasticidades en los plazos determinados. Para estas evaluaciones resulta fundamental la segregación de la demanda en sus componentes ligados a los hábitos y culturas de uso y los dependientes de las infraestructuras de consumo. Con toda esta información y la decisión sobre la política de gestión del riesgo a seguir en cada circunstancia, se fijarán los parámetros y umbrales de actuación a emplear para orientar las operaciones de anticipación y mitigación, así como el establecimiento de responsabilidades de actuación: Quién, Cuándo y Cómo.

Todo ello debe recogerse en protocolos operacionales de valoración y gestión de riesgos, lo que es un ejercicio de calidad y eficiencia en la gestión de crisis y contingencias en cualquier sistema de abastecimiento urbano de agua, independientemente de las consideraciones de cambio climático.

3.3. MEDIDAS SOCIALES

Independientemente de lo que se plantee como estrategia combinada de actuaciones estructurales y operacionales, resulta conveniente la implicación de los agentes sociales en la problemática a afrontar para resolver los retos que plantea el anunciado cambio climático.

Los mecanismos de participación pública y de implicación de los ciudadanos y sus preferencias en la determinación de los niveles de garantía y servicio que estarían dispuestos a percibir como consecuencia de las incertidumbres vinculadas al cambio climático, han de ser una pieza clave para el establecimiento de una estrategia al respecto.

4. CONCLUSIONES

Hay distintas formas de posicionarse frente al cambio climático. Una es la de la mitigación del cambio generado antropogénicamente, para ello las medidas que deben tomarse han de ser como el mismo efecto: globales. Algunas de estas medidas son la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero o la reducción del consumo energético. Los objetivos de estas medidas son, claramente, reducir la inferencia antropogénica en el clima, tratando de reducir, o al menos ralentizar, el cambio climático. Este tipo de medidas tienen que plantearse desde estrategias de índole Internacional.

Por otro lado están las medidas de adaptación, aquellas llamadas a combatir los impactos ya presentes o los que se manifestarán de forma inevitable por el cambio

climático con el fin de mantener los mismos niveles de garantía considerados en la actualidad. Las medidas de mitigación, aún cuando se produjera una acción internacional combinada y eficaz, no serán lo suficientemente rápidas para evitar el impacto en el medio o largo plazo de planificación hidrográfica (2027), ni por supuesto en el corto plazo. Por ello son necesarias una serie de medidas para adaptarse o reaccionar ante el cambio de condiciones meteorológicas.

Las cuestiones que se debe plantear todo sistema de abastecimiento son:

- ¿Cuánto va a costar resolver la precariedad coyuntural en la prestación de los niveles de servicio en las ocasiones que se necesite?
- ¿Cuál será la frecuencia con la que se producirán estas situaciones en que sea necesaria una respuesta fuera de lo normal?
- ¿Cuánto debe incrementarse el gasto en una operación preventiva para un riesgo mayor?
- ¿Cuánto se deben incrementar las inversiones preventivas para reducir los riesgos de incumplimiento de los niveles de servicio objetivo?

La respuesta a estas preguntas constituye la estructura de la estrategia de adaptación al cambio climático en los sistemas de abastecimiento.

En primer lugar se deben establecer las condiciones climáticas de referencia, tomando como base las predicciones realizadas a nivel con los modelos regionales de variación del clima para los diferentes escenarios considerados a nivel global. Para la Península Ibérica se dispone de estos estudios que concluyen en rangos de incremento de las temperaturas máximas en el entorno de 1,5 °C, 4 °C y 6,5°C para los horizontes de 2030, 2060 y 2080 respectivamente. Para las variaciones de precipitación no se han identificado de forma robusta variaciones cuantificables y en la reducción de disponibilidades de aportaciones la nueva Instrucción Técnica para la Planificación Hidrológica establece rangos de reducción distinta según la zona, fijando para la cuenca del Tajo reducciones en las aportaciones naturales de un 7%.

Para la demanda de agua las valoraciones de modificaciones en sus patrones y valores característicos y determinantes para el dimensionamiento de los sistemas de abastecimiento, se deben basar en modelos matemáticos que vinculen la relación de dichos parámetros, con el mayor grado de desagregación posible, con las variables climáticas. En el caso de la Comunidad de Madrid se dispone de estos modelos para microcomponentes del consumo doméstico y para los principales tipos de uso. Los valores resultantes de la aplicación de estos modelos arrojan, por cada grado de aumento en las temperaturas máximas medias, aumentos de los volúmenes anuales de consumo entre 1,3 y 1,6%, para los valores de consumos máximos mensuales se producirían aumentos entre 2,1 y 2,2% y para los máximos diarios el rango de aumento por cada grado centígrado estaría entre 2,8 y 3,2%.

La gestión del agua en circunstancias extremas:
Inundaciones en el medio urbano

Las medidas operacionales de adaptación tendrían que basarse en la actualización de los procedimientos operacionales para la prevención y resolución de situaciones de alto riesgo de incumplimiento, a plena satisfacción de los estándares de servicio con las consideraciones derivadas de los escenarios previstos a nivel regional por los modelos regionales de cambio climático. Estas medidas son necesarias, por cuanto muchos de los cambios que se pueden estar presentando, lo harán de forma inminente o sucederán antes de que se hayan implantado las soluciones estructurales decididas.

Como todo desafío, y el cambio climático lo es, el replanteamiento de las estrategias para afrontarlo es una necesidad y una magnífica oportunidad para actualizar los principios de la eficiencia en la gestión de la incertidumbre, lo que forma parte de la cultura de gestión de los sistemas de abastecimiento urbano en España y en todo el ámbito Mediterráneo.

5. REFERENCIAS

1. AEAS-Ministerio de Medio Ambiente, "Guía para la elaboración de Planes de Emergencia por Sequía", 2007.
2. Cubillo et al, "Manual de Abastecimiento del Canal de Isabel II", Canal de Isabel II 2003.
3. Cubillo et al, "Microcomponentes y Factores Explicativos del Consumo Doméstico de Agua en la Comunidad de Madrid", Canal de Isabel II 2008.
4. Instituto Nacional Meteorológico Ministerio de Medio Ambiente, "Generación de Escenarios Regionalizados de cambio climático para España", INM 2007.
5. IPCC, Third and Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change, 2001-2007
6. Ministerio de Medio Ambiente, "Instrucción de Planificación Hidrológica", MMA 2008.
7. Nakicenovic et al, "Emissions Scenarios. A Special Report of Work Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, 2000.
8. Parlamento Europeo y Consejo de Europa, Directiva 2000/60/CE "Directiva Marco del Agua", 2000.
9. PRUDENCE Project (Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects) "Final Report", 2005
10. Rossi et al, "Methods and tools for drought analysis and management", Springer 2007.