IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN ESPAÑA Y VIABILIDAD DEL PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL 2000

Francisco J. Ayala-Carcedo
Investigador
Instituto Geológico y Minero de España
Ríos Rosas 23 / 28003 Madrid

Introducción y escenarios

Ya el nonato Plan Hidrológico Nacional de 1993 planteó la posibilidad de que el Cambio Climático (CC) supusiera un grave problema para este recurso en España. Así como el CC supondrá con gran probabilidad un aumento de la precipitación en latitudes como las de la Europa atlántica, no es éste el caso de los países con clima mediterráneo, zonas fronterizas entre los climas desérticos y los templado-húmedos. En este tipo de ambientes, los periodos más cálidos durante el Holoceno, últimos 10.000 años, han sido más áridos (Issar and Makeover-Levin, 1993).

Se utilice para la asignación de un recurso escaso como el agua la planificación, un método cada vez más cuestionado, o el mercado, los datos básicos son de una parte los recursos y de otro la demanda, variable dependiente a su vez del precio del agua, sea político como en España (las aguas de embalse, que cuestan unas 25 pta / m^3 se cobran al agricultor generalmente a 2) sea el de mercado. El CC, de acuerdo con lo que sabemos, afectará significativamente a los recursos como se verá, y por tanto debería ser tenido en cuenta ya que sin él cualquier escenario que se plantee carecería de credibilidad en todas sus dimensiones. En este sentido, deben tenerse en cuenta dos elementos. De un lado el hecho de que la Unión Europea ha publicado en febrero de 2000 unas reglas para la aplicación del Principio de Precaución que afectan de lleno al CC; de otro, las conclusiones del Proyecto ACACIA de la Comisión Europea para investigar los impactos del CC en Europa, que concluyen que " ya no es posible suponer que la base de los recursos hídricos en el futuro será similar a lo que es hoy " (Parry *et al*, 2000). Sería poco defendible por otra parte que el Gobierno español esté planteando la reducción de gases invernadero, con costos muy altos para la industria energética, o creando una Oficina del Cambio Climático y sin embargo no tuviera en cuenta los efectos de lo que trata de combatir para su Política del Agua.

El problema que se plantea es a que intervalo temporal referirse, a que *Horizonte*, para hacer las evaluaciones de impacto cuando se habla de recursos hídricos. El anteproyecto de Plan Hidrológico Nacional ha realizado sus análisis en el escenario del 2020 (sin tener en cuenta algunos impactos como se verá), llegando a la conclusión de que las reducciones de recursos esperables no cuestionan las obras hidraúlicas que contiene. Ahora bien, ¿es este horizonte el adecuado, o habría que tomar un horizonte más alejado en el tiempo?

Hay tres tipos de criterios básicos a tener en cuenta para decidir sobre el horizonte temporal necesario.

Ante todo están las consideraciones ecológicas que imponen servidumbres a las obras hidraúlicas, es decir, los caudales ecológicos, muy cuestionados por lo exiguo entre los ecólogos, y la necesidad de preservar lugares protegidos ligados a hábitats fluviales; esto último es singularmente importante en el caso de aquellos ecosistemas que están protegidos por convenios suscritos por España como el RAMSAR de protección de aves o los que se derivan de la Directiva Hábitats de 1992, que en su artículo 6 impone la

obligación de someter a Evaluación Estratégica “los *planes* y proyectos” que puedan afectar a lugares protegidos por ella como p.e. el Delta del Ebro. Habida cuenta de que no antes de 2010 se materializarán las obras contenidas en el PHN, parece alejado de lo estratégico evaluar con un escenario al 2020.
Por otra parte está el hecho de que las grandes obras hidraúlicas tienen vidas útiles de 100-120 años. La racionalidad técnica ligada a un diseño óptimo, impone considerar como horizonte de proyecto la mitad de la vida útil : 2010+50 = 2060. A consideraciones intermedias lleva el plazo de amortización, que debido a la marginalidad económica de muchas de las actuaciones, obliga a amortizar en 50 años : 2010+25 = 2035.
Por tanto, las consideraciones técnicas y ecológicas sugieren la necesidad de evaluar los impactos del CC en escenarios correspondientes al *2060*, que es lo que se ha hecho en el análisis que se presenta a continuación. Evaluar los impactos al 2020 como ha hecho el PHN, 10 años más que el horizonte de terminación de las obras, es aplicar un criterio administrativo a un problema científico-técnico de hondas consecuencias, lo cual es poco acorde con una mínima racionalidad, incluso económica como se ha expuesto; baste pensar que si la seguridad de las presas que el Plan contempla se calculara con este criterio, se caerían buena parte en su vida útil.

El Escenario de Cambio Climático

El clima es una realidad muy compleja que depende de factores múltiples. Una de las consecuencias de que la atención pública se haya llegado a interesar por el tema, ha sido la asignación de cuantiosos recursos a la investigación, lo que hace que hoy conozcamos los mecanismos que controlan el clima bastante mejor que hace diez años.
La principal fuente de referencia son los informes que el Panel de la ONU creado para este tema, el IPCC, ha emitido en 1990 (Houghton *et al*,, 1990) y 1995, siendo el próximo el que se publicará a comienzos de 2001. En Parry *et al* (2000), pueden verse los resultados de diversos modelos para Europa, entre ellos los del Hadley Center y los del Max Planck.
Actualmente, existe un amplio consenso en los siguientes impactos para España:
*Habrá reducción de precipitaciones
*La subida de temperaturas será especialmente fuerte en verano y será mayor en los países mediterráneos (en este sentido es destacable el trabajo de Almarza (2000) demostrando que en el último siglo y medio la temperatura en Madrid, descontado el efecto de isla térmica, ha subido un 50 % más que la media del Hemisferio Norte)
*Habrá aumentos de la variabilidad interanual de la precipitación
Los resultados de los cálculos que se exponen a continuación han tomado como base el Modelo del Hadley Center tal y como el Instituto Nacional de Meteorología lo definió para España en el Informe español de 1995 para la Convención de Cambio Climático de la ONU, único oficial hasta la fecha. El horizonte, es el 2060.
Se espera una subida de la temperatura media anual de 2,5 ºC y reducciones de la precipitación anual variables, del 2 % en las cuencas del norte al 17 % en las del sur, que pueden verse en Ayala-Carcedo e Iglesias (2000).
Uno de los alegatos más frecuentes contra la verosimilitud del CC por aumento del efecto invernadero, un fenómeno físico bien conocido, suele ser el de su falta de detección en algunos entornos. En este sentido, Quereda *et al* (2000) han planteado dudas en las zonas costeras mediterráneas españolas en base al análisis de las series de precipitación y temperatura en observatorios costeros, afectados por el efecto regulador del mar, comparados con otros no afectados por el efecto urbano, concluyendo que no

existe por ahora una manifestación de aumento de temperatura. Debe tenerse presente que, tal y como sugiere el trabajo de Almarza citado, la realidad en el interior es bien distinta, y que es en el interior donde se genera la mayor parte de los recursos hídricos; por otra parte, hay un amplio consenso en el sentido de que a) la parte superficial del mar, al almacenar una parte importante del exceso de calor generado, está retrasando su reflejo en la temperatura del aire, lo cual probablemente supondrá un fuerte aumento del ritmo de calentamiento las próximas décadas, observable ya en la década 1990-2000; b) la utilización de análisis regionales para prever el impacto de un fenómeno global, no son adecuadas .

Impactos del Cambio Climático

Los cálculos se han realizado (Ayala-Carcedo, 1996) evaluando la variación de la Aportación A, volumen de agua que aporta una cuenca en régimen natural, los recursos hídricos anuales, a partir del balance hídrico:

$$A = P - ETR$$

P : Precipitación anual
ETR : Evapotranspiración real anual

Es bien conocido en Hidrología que una disminución de la Precipitación (P) suele tener una amplificación en términos de Aportación; de otro lado, el aumento de Temperatura (T), significa una mayor transpiración biológica de las plantas para mantener su equilibrio interno, y una mayor evaporación directa del suelo. Ambos efectos, de P y T, que pueden verse en la Figura 1, fueron estudiados hace varias décadas por dos hidrólogos franceses, Turc (1954) y Coutagne (1954), que formularon unas ecuaciones bien conocidas para calcular la ETR. Estas ecuaciones han sido contrastadas en 1998 por el autor en numerosas cuencas españolas en régimen natural encontrándose que son las mejores aproximaciones a la realidad observada a partir de P y T anuales.
Se ha seguido un procedimiento ecléctico en base a la aplicación de ambas ecuaciones a las diversas cuencas peninsulares en su parte española, comprobando que reflejan en general la realidad de forma razonable (el cociente medio entre la ETR real y la calculada es de 0,93) seleccionando la más ajustada y aplicando unos coeficientes de calibración que se han tenido en cuenta para calcular los nuevos valores de la ETR en el escenario del 2060. Conocidos ETR y P para el nuevo escenario, se han calculado las reducciones de recursos hídricos para el 2060 que pueden verse en la Figura 2. Estas reducciones se manifestarán con casi todo su peso en regulaciones en demanda continua como los aprovechaminetos hidroeléctricos y abastecimientos, siendo su efecto algo aminorado de acuerdo con la regulación existente en cada cuenca, en los casos de demanda variable (concentrada en los meses de riego) correspondiente a regadío. La realidad, estará en un punto intermedio de acuerdo con el nivel de usos relativo demanda continua/variable .
Mi aproximación, que da una *reducción media para toda la Península del 17 % para el 2060*, es prácticamente igual a la deducida por Mimikou *et al* (2000) en Grecia con modelos más refinados. Respecto a la fiabilidad de las previsiones debe tenerse en cuenta que alrededor de la mitad de la reducción de recursos es debida al aumento de temperatura, una variable cuyo aumento es altamente esperable.
Ha habido otras tres aproximaciones posteriores a la mía de 1996. La del CEDEX realizada para el Ministerio de Medio Ambiente (MIMAM) en 1997 evaluaba los

efectos para un escenario la mitad de severo que el expuesto, en varias cuencas mediterráneas; a título de ejemplo, para la del Ebro, establecían una reducción del 20 % (40 % aproximadamente en un escenario como el mío, más realista). La del Libro Blanco del Agua (MIMAM, 1998), extrapolada para un escenario similar al aquí empleado suponía una reducción del orden del 28 %. La empleada en los documentos de apoyo al PHN 2000, una vez extrapolada del 2020 al 2060 supone en cuanto a los valores medios de la horquilla que deduce, salvo para las Cuencas Internas de Cataluña, en que es bastante más pesimista que la mía, unos resultados similares a los aquí presentados.

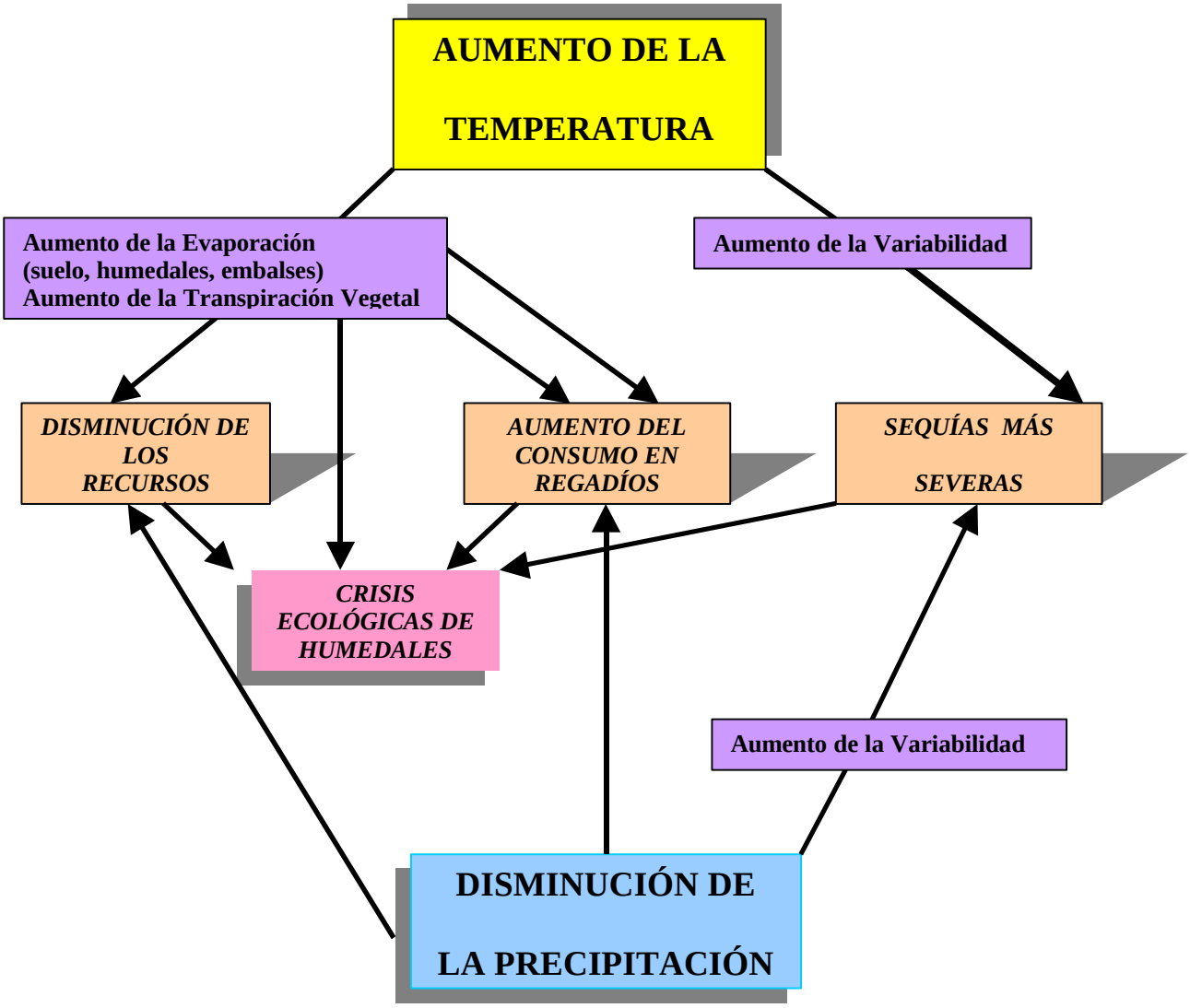

Figura 1.- El Cambio Climático en España implicará un conjunto de impactos que se refuerzan mutuamente

Hay otro efecto importante, la variación de las pautas temporales de A al disminuir P y aumentar T. Este fenómeno puede medirse a través del cambio del Coeficiente de Variación c_V (desviación standard / media). Se ha ajustado una función a las diversas

cuencas españolas (Ayala-Carcedo e Iglesias, 2000), que es una primera aproximación al tema:

$$C_v = (A / P)^{-0,39} \quad (r^2 = 0,59)$$

Los coeficientes de variación, aumentan en todos los casos salvo en las Cuencas Internas de Cataluña.

El aumento de este coeficiente sugiere una *intensificación de los sucesos extremos* , tanto la sequía como las inundaciones, lo cual ha sido corroborado por Easterling *et al.* (2000).

Cara al diseño de regulaciones, tanto obras hidraúlicas como sondeos de captación, el aumento de variabilidad y el descenso de aportaciones, tienen efectos contrapuestos, al inducir el primero a dimensionados más generosos y el segundo a dimensionados a la baja. A través de la fórmula de Mc Mahon (1986), se ha evaluado el posible *riesgo de sobredimensionamiento de las obras hidraúlicas*, que existe en todas las cuencas, con un valor medio de casi un 11 % , variando entre un 3 % para las Cuencas del Norte y un 21 % para las del Sur (8 % en el Ebro: su no consideración en los costos teóricos del trasvase supondría el derroche de 56.000 millones de pta).

Figura 2.-El Cambio Climático supondrá en la España Peninsular una reducción de recursos media del 17 %, equivalente a 20.115 hm^3, más severa en la mitad meridional (Ayala-Carcedo, 1996)

Otro impacto de gran importancia es el *aumento del consumo en los regadíos actuales*. La razón es doble: de un lado el descenso de la P obliga a aumentar los riegos, de otro el aumento de T implica un aumento de la transpiración biológica de las plantas y un aumento de la evaporación directa del suelo. Dado que se prevén mayores aumentos de T en el verano y que un mundo invernadero, con más CO_2, inducirá un mayor crecimiento de las plantas, y por tanto un mayor consumo de agua, el efecto será con gran probabilidad magnificado a pesar del cierre estomático que puede inducir una mayor dosis de CO_2. Estos aumentos de consumo para las diversas cuencas se han calculado a partir de una fórmula de regresión para la Evapotranspiración Potencial, ETP, obtenida para 11 observatorios con los datos de Castillo y Giménez Ortiz (1965): $ETP = T^{3,26\ \exp(-0,018\ T)}$, ($r^2 = 0,96$) . Los resultados pueden verse en la Figura 3.
Estos aumentos del consumo necesarios para mantener los regadíos actuales, no han sido tenidos en cuenta (a pesar de ser conocidos desde 1997, año en que difundí los primeros resultados) en el PHN.

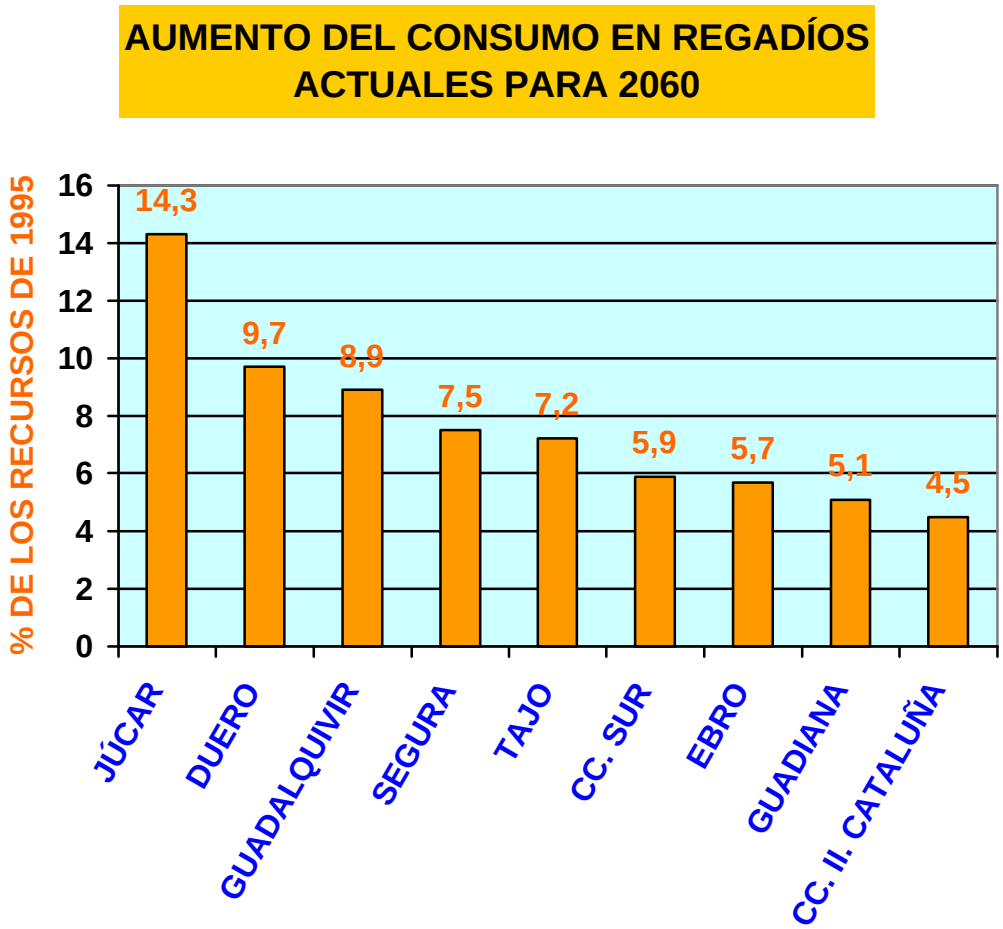

Figura 3.-La reducción de la Precipitación, aunada a los aumentos de Evaporación, de Transpiración vegetal y de la biomasa de la planta en un mundo invernadero, aumentarán el consumo por hectárea en los regadíos actuales (Ayala-Carcedo e Iglesias, 2000)

Viabilidad física y ecológica del trasvase Ebro-Levante y futuro del Delta del Ebro

Dos son los factores a considerar para el análisis de viabilidad , de un lado la disponibilidad de recursos a nivel medio, de otro su garantía en los periodos de sequía intensificados esperables.

Por un lado, debe garantizarse siempre un caudal ecológico de 100 m^3/s en la desembocadura del Ebro, equivalente a una reserva de 3.154 hm^3/año. Prat (2000) , catedrático de Ecología de la Universidad de Barcelona ha mostrado que "el río necesita caudales de hasta 400 m^3/s para remover los fondos y regenerar las arenas y limos donde viven especies singulares (...) Ni se menciona en el PHN que la producción pesquera de la plataforma continental próxima, depende de las crecidas del río".

La cuenca del Ebro, con recursos medios de 17.250 hm^3 , tiene actualmente un nivel de regulación del 64 %, con un consumo de 5.500 hm^3. De acuerdo con lo expuesto en los documentos de apoyo al PHN, habida cuenta que el Pacto del Agua aragonés de 1992, supone una regulación adicional de 3.400 hm^3 y el trasvase la detracción de otros 1.050 actualmente, una vez detraído el caudal ecológico, la cuenca tendría unos excedentes medios anuales aproximados de 5.200 hm^3.

¿Qué sucede si se incorpora el Cambio Climático?. Si se considera la reducción de recursos combinada con el aumento de consumo en regadíos actuales, en realidad, según mis cálculos, habría un *déficit de 177 hm^3 para 2060*. Si se tiene en cuenta la doble variabilidad observada en esta cuenca, los periodos cortos de sequía de hasta 8 años de duración y los largos de unos 25 años,, el problema se agrava, ya que p.e., en el periodo 1970-1994, la cuenca experimentó una reducción media sistemática que equivalió al 21 % de la P al final del periodo y el 30 % de la A. *No existe ningún sistema de regulación con estos parámetros que pueda garantizar el suministro del caudal ecológico si el PHN se lleva a cabo y evitar la muerte biológica del Delta del Ebro*. De acuerdo con la hipótesis planteada en los documentos de apoyo al PHN 2000, el déficit sería de 217 hm^3, que se convertirían en unos 2.244 en la hipótesis del Libro Blanco del Agua (MIMAM, 1998) y en 4.499 de acuerdo con los resultados del trabajo del CEDEX para el MIMAM en 1997 .

Por tanto, cabe concluir que la realización del PHN en lo referente al conjunto Cuenca del Ebro (Pacto del Agua aragonés de 1992 + trasvase a Levante), es físicamente imposible desde una perspectiva estratégica de sostenibilidad, en contra de lo afirmado en el texto del Anteproyecto de Ley, y conducirá a la muerte biológica del Delta en unas décadas.

Desde una perspectiva económica, que ha sido analizada a nivel global por Arrojo y Gracia (2000) y por mí (Ayala-Carcedo, 2000), la progresiva falta de garantías de suministro de los caudales de proyecto, encarecería sistemáticamente los costos del agua trasvasada, tal y como ya ha pasado en el Trasvase Tajo-Segura, que no ha transferido más allá de un tercio de las cantidades para las que se diseñó, en buena medida por basarse en una hipótesis climática optimista, una advertencia a tener en cuenta. No parecen creíbles en esta hipótesis las cifras oficiosas barajadas de un coste medio de 52 pta/m^3, constituyendo una alternativa estructural mejor, y con mucho menor riesgo financiero de cara a la consecución del objetivo de déficit público cero una combinación que priorizara la modernización de regadíos y el agua subterránea primero, con costes

ésta última en el entorno de las 10 pesetas, y seguidamente la desalación, en torno a 75 pesetas en parcela.

Las cuencas "estructuralmente deficitarias": Cuencas Internas de Cataluña, Júcar, Segura y Sur

Los niveles de regulación de dos de las cuencas así calificadas oficialmente, Júcar y Segura, son respectivamente del 74 % y el 83 %, claramente en zonas de rendimientos marginales, sobrerreguladas; los acuíferos de la zona de cultivos bajo invernadero de la zona almeriense, han sido objeto de amplia y sistemática sobreexplotación mucho más allá de lo sostenible sin que la Administración Hidraúlica, competente desde 1985, haya sido capaz de poner freno.

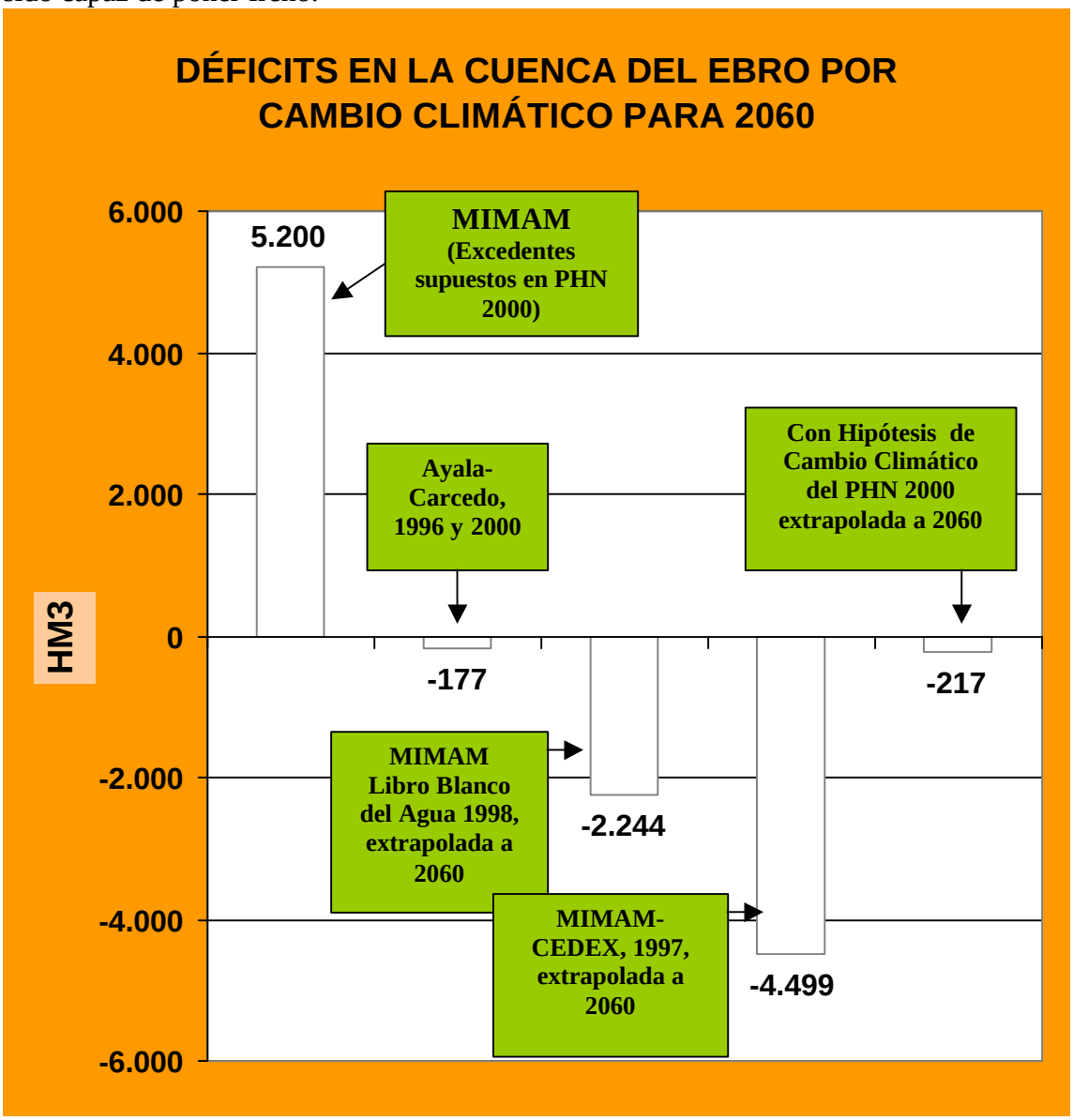

Figura 4.-La incorporación de los impactos del Cambio Climático en la Cuenca del Ebro, teóricamente excedentaria hoy, muestra que cara a una Evaluación Estratégica, pensando especialmente en la supervivencia ecológica del Delta del Ebro, la cuenca

dejaría progresivamente de ser excedentaria para acabar como deficitaria, a la vez que los costes por m^3 aumentarían de forma sistemática a la par que disminuirían las cantidades de agua trasvasada

Ya el trasvase Tajo-Segura fue justificado con este mismo argumento del "déficit estructural" que iba a resolver el trasvase de 1.000 hm^3 ; veinte años más tarde vuelve a aflorar otro nuevo "déficit estructural" extendido a todo el arco mediterráneo lo que resta credibilidad al planteamiento, que ha sido justamente criticado por Arrojo y Gracia (2000), y dotado evidentemente de una notable elasticidad ya que según el documento de Análisis de los Sistemas Hidraúlicos y por muy increíble que esto parezca "queda fuera de las determinaciones de este PHN" a qué van a destinarse los 1.000 hm^3 (p. 387). La realidad es que a pesar del anterior trasvase, el río Segura ha sido convertido en una cloaca... que todos los contribuyentes vamos a pagar para su depuración.

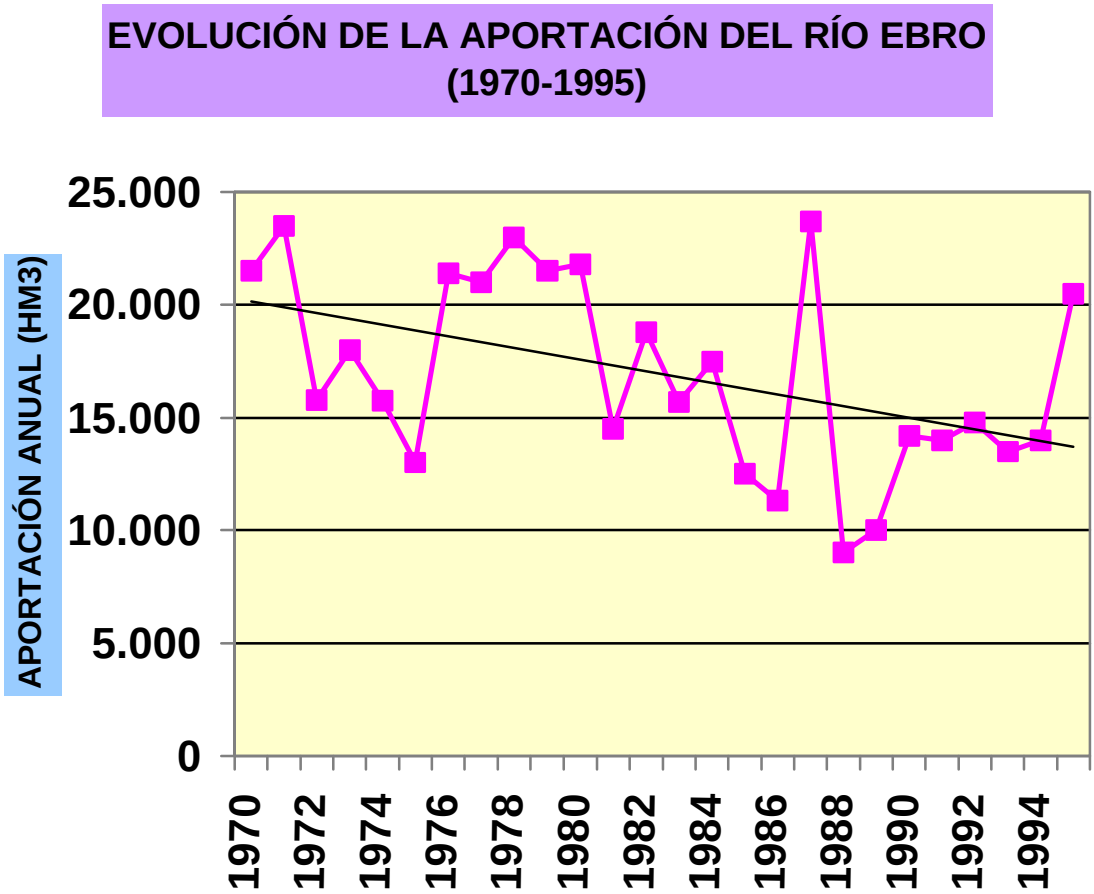

Figura 5.-Los largos periodos de aridez como éste de 25 años en la Cuenca del Ebro que ha supuesto una reducción de recursos del orden del 30 %, intensificados en condiciones de Cambio Climático y superpuestos a unos recursos tendencialmente declinantes, es muy probable conduzcan a una crisis ecológica irreversible del Delta del Ebro y a costos del agua trasvasada muy por encima de las previsiones iniciales (Con datos del PHN 2000; error +/- 1 %)

En la Cuenca del Júcar el caso de la Acequia Real del Júcar, analizado por Tomás (1997), resulta muy significativo de la falta de consistencia del concepto de "déficit estructural". Esta acequia deriva 538,34 hm^3 de media, siendo consumidos por los cultivos tan solo 110 hm^3, una eficiencia del 20 %. Una elevación de la eficiencia al 37 % con un ahorro de más de 200 hm^3, los dos tercios del supuesto "déficit estructural" de la cuenca alegado en el PHN 2000, costaría 2,06 pta / m^3. ¿No sería razonable, ya que el PHN 2000 contempla actuaciones, plenamente justificadas y prioritarias por lo que se ve, de modernización de regadíos, restar esa cantidad del caudal de trasvase?. Da la impresión de que el Plan tiene problemas de coherencia interna entre actuaciones de regulación y actuaciones de modernización. Por otra parte, el agua subterránea, con recursos sin aprovechar en el Júcar reconocidos en el Libro Blanco superiores a los 600 hm^3, de impactos ambientales mucho menores que el trasvase, se extrae en la cuenca a precios medios menores de las 10 pta / m^3. ¿Dónde está, pues, la justificación del "déficit estructural" y la racionalidad económica frente a las 52 pta / m^3 de coste del agua trasvasada, escasamente creíbles por no tener en cuenta las notables desviaciones presupuestarias habituales en las obras hidraúlicas?.
El Cambio Climático, si no se olvida de una vez por todas este insostenible concepto del "déficit estructural", *precipitará un nuevo ciclo reivindicativo de nuevo "déficit estructural"* por más que el PHN 2000 se comprometa a cortar el desarrollo de nuevos regadíos (¡sin determinar en que van a emplearse las aguas trasvasadas!), que de forma ilegal o alegal viene desarrollándose hoy mismo en Murcia (Pedreño y Domingo, 2000). Piénsese que la reducción de recursos supone en las cuatro cuencas receptoras del trasvase proyectado 2.031 hm^3 y el aumento de consumo en regadíos actuales (no se cuentan los ilegales), otros 922 hm^3, un total, parcialmente evitable con la modernización de regadíos, de 2.953 hm^3, muy superior a los 1.000 hm^3 a trasvasar. El afloramiento de nuevos "déficits estructurales", y más sin la garantía de que las aguas trasvasadas vayan realmente a emplearse en regadíos según la estructura del déficit, es inevitable en este contexto, como las tensiones entre agricultores, condenados por la legislación a ver postergadas sus demandas ante las de abastecimiento, más lucrativas seguramente para el concesionario del trasvase, y otros usuarios. Si se añade el aumento previsible de la variabilidad y las sequías, el conflicto está servido, conflicto que se hará endémico con la cuenca del Ebro y probablemente entre las cuencas receptoras del trasvase. No parece que los trasvases vayan a promover la solidaridad interregional sino más bien el conflicto. Difícilmente, pues, puede calificarse este PHN como sostenible cuando resquebraja la solidaridad interregional.

Cuencas compartidas con Portugal

Las cuencas compartidas pueden tener reducciones de recursos de: Norte I: 13 %, Duero: 22 %, Tajo: 17 %; Guadiana: 23 %.
La definición de los recursos correspondientes a Portugal en los acuerdos correspondientes, se hace en base a un porcentaje de los recursos totales. Si dichos recursos van reduciéndose sistemáticamente, las cantidades asignadas a Portugal deberán irse revisando a la baja con un calendario que a España le conviene sea lo más frecuente posible para evitar que una asignación de cantidades constantes se traduzca en menos recursos totales en España. En los primeros años, cuando la señal de reducción

del Cambio Climático sea aun pequeña una evaluación de los recursos en régimen natural puede ser enmascarada por los errores inherentes al propio cálculo, lo cual se volvería en contra de los intereses españoles. Es probable que esto plantee conflictos entre los dos países ibéricos.

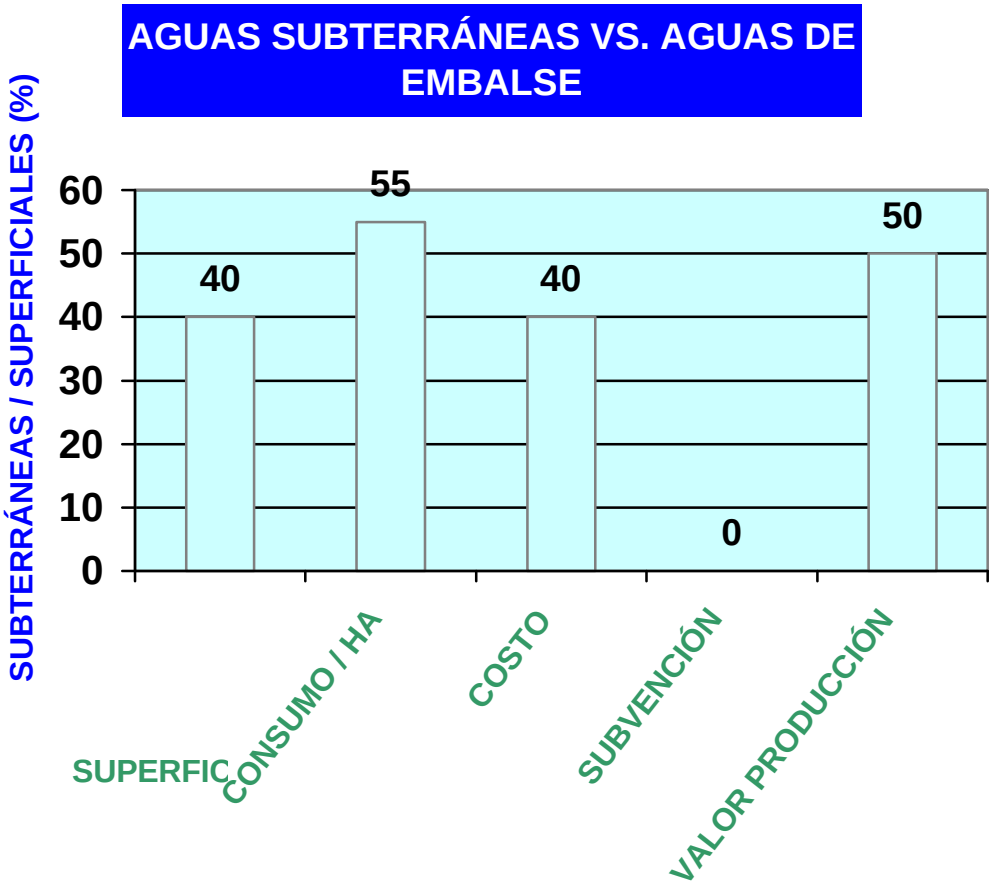

Figura 6.-Dadas las ventajas ecológicas y económicas de las aguas subterráneas en un contexto orientado a la eliminación del déficit público, resulta incomprensible su práctica ausencia del PHN 2000, revelando su carácter sesgado hacia las hipersubvencionadas aguas de embalse , tradicional en la Administración Hidraúlica

Portugal tiene un uso más intensivo a nivel hidroeléctrico que España, uso que tal como se muestra más adelante experimentará probablemente una reducción a nivel de generación mayor que la media, por lo que el impacto económico es probable sea mayor en Portugal que en España.
No parece, sin embargo, que el desarrollo de nuevos regadíos en España en las cuencas compartidas aunado al propio aumento del consumo en los ya existentes, por el limitado nivel de regulación existente en estas cuencas, cree problemas en las primeras décadas del siglo XXI. No obstante, es lógico que en un contexto de reducción de recursos Portugal siga con atención el desarrollo de nuevos usos consuntivos en España en las cuencas compartidas.

Afecciones a los abastecimientos urbanos, industriales e hidroeléctricos

Todos estos aprovechamientos tienen la característica común de operar en régimen de *demanda continua*. Esto supone que el sistema de regulación existente, prácticamente no amortigua la pérdida de recursos; por tanto, las reducciones se trasladan casi de forma íntegra a los usos.
Las reducciones de recursos aunadas al aumento de la frecuencia y severidad de las sequías (que limitan la capacidad de dilución de contaminantes) plantearán problemas de contaminación que irán obligando a depurar, algo contemplado en el PHN.
Los embalses de *abastecimiento*, con una relación superficie inundada/capacidad de embalse mayor que en el resto de aprovechamientos, verán, proporcionalmente, más mermados sus recursos por evaporación en lámina libre debido al aumento de temperatura, bastante más severo en los veranos (Parry *et al*, 2000). El proceso será más intenso en las cuencas con mayor tasa de aumento de la evaporación, las del Guadiana (+33 %), Guadalquivir (+35 %) y Cuencas del Sur (+40 %) (Ayala-Carcedo e Iglesias, 2000). El fenómeno dista de ser baladí, ya que según mis estimaciones la evaporación en lámina libre en el conjunto de los embalses españoles consume alrededor del 40 % de las necesidades totales de abastecimiento urbano. En esta tesitura, parece recomendable recurrir, en sintonía con la Directiva del Agua, cada vez más a las *aguas subterráneas*, carentes de pérdidas por evaporación, en general de mejor calidad y que suponen inversiones iniciales mucho menores y costos finales menores que las aguas de embalse, más vulnerables a la contaminación de todo tipo.
En el sector energético, las *centrales nucleares*, necesitadas de un caudal mínimo relativamente alto para su funcionamiento normal, deberían evaluar la existencia de posibles problemas durante su vida útil restante a la luz tanto de la reducción de recursos como del aumento de la severidad de las sequías.
El *sector hidroeléctrico* se enfrentará progresivamente a un problema de reducción de generación, especialmente agudo en los períodos de sequía intensificados por el aumento de la variabilidad interanual, que en términos medios a nivel del país puede ser del orden del 25 % para el 2060, casi un 0,5 % de caída media anual y sostenida (Ayala-Carcedo y Piserra, 2000). La reducción será mayor en las centrales de pie de presa, principal campo de crecimiento a caballo de los nuevos embalses para regadío que pagaremos en buena medida los contribuyentes, donde la parte de agua perdida por Cambio Climático será la más alta y por tanto la más energética, y menor en los saltos. El papel de esta energía en la cobertura de las puntas de consumo veraniegas asociadas al aire acondicionado, de gran importancia en la mitad sur del país y creciente por el aumento de temperatura asociado al CC, será progresivamente más problemático tanto por los menores recursos y mayores sequías como por los mayores conflictos con los regantes en esa época del año. En cualquier caso, la marginalidad económica ya existente para nuevos desarrollos por el alto nivel de aprovechamiento del potencial hidroeléctrico de las cuencas, se acentuará severamente configurando progresivamente un panorama sombrío para nuevos desarrollos que puede llevar a conflictos más intensos con regantes , ecologistas y el turismo verde que van a erosionar la imagen de las empresas hidroeléctricas en la opinión pública y a cuestionar la sostenibilidad social del PHN.

Afección a humedales y playas

Los humedales son el hábitat fundamental no solo de la avifauna pescadora sino de no pocos endemismos vegetales o de otros vertebrados e invertebrados (Delibes, 1988). El Coto de Doñana y el Delta del Ebro, dos humedales, son los principales puntos de avifauna del país. Estos humedales son, por otra parte, la base de desarrollos de turismo

verde que están creciendo mucho más que el turismo de sol y playa, al cual complementan a menudo. La importancia del mantenimiento de las playas como recurso turístico clave, no necesita ser enfatizada.

Los *humedales* han sido profundamente afectados por la acción antrópica y se caracterizan por láminas de agua muy superficiales que no suelen superar el metro de profundidad, alimentadas por un nivel freático aflorante. La reducción de recursos subterráneos combinada con el aumento de la evaporación en lámina libre que puede verse en la Figura 7 y la intensificación de las sequías, es altamente probable que lleven antes de dos décadas a la mayor parte de los humedales ibéricos a *crisis ecológicas graves* que el caso de la laguna de Gallocanta aragonesa, seca por la caída de recursos en la cuenca del Ebro, parece prefigurar, advirtiendo de la gran fragilidad de estos ecosistemas clave que la Directiva Hábitats de 1992 y antes el Convenio RAMSAR nos obligan a proteger.

El problema es singularmente grave en los humedales asociados a deltas o lagunas costeras, amenazados además por los fenómenos erosivos que las nuevas obras hidraúlicas planteadas van a producir a través de la retención de sedimentos y por la subida del nivel del mar inducida por la subida de la temperatura, que dará al traste con buena parte de las playas de costas bajas como las del Golfo de Cádiz y hará retroceder severamente las demás . Para el *Delta del Ebro*, amenazado directamente por la conjunción del Pacto del Agua aragonés y el trasvase, Martínez (1997) da cifras de un asentamiento por consolidación bajo su propio peso de 3,5 mm / año, que aunados al medio metro aproximado que se espera suba el nivel del mar, supondría la desaparición del Parque Natural y la mitad del Delta; ¿es aceptable el PHN con estas condiciones de partida? Para el director ejecutivo de la Agencia Europea de Medio Ambiente, Domingo Jiménez Beltrán, *"este parece un planteamiento inaceptable (...) ya que se pasa a aceptar una mayor degradación sin intervenir en la degradación existente"*, bien conocida en cuanto a su origen por otra parte: el sistema de embalses, básicamente hidroeléctricos, responsables en un 75 % aproximadamente los pirenaicos y otro 25 % los de Mequinenza y Ribarroja, en el propio río Ebro, que hacen que al Delta no le llegue ni el 1 % del sedimento que le llegaba antes de su construcción. El PHN podría ser una buena oportunidad para corregir este hecho inaceptable.

En conclusión, el PHN 2000 da un tratamiento inadecuado, administrativo, al problema del Cambio Climático, que por lo que se ha expuesto, tiene un impacto potencial capaz de *cuestionar la viabilidad física, ecológica y económica del Plan*.

En este contexto, junto al mantenimiento de las partes más admisibles del PHN como la modernización de regadíos o la depuración, el cuestionamiento de la viabilidad del trasvase Ebro-Levante es inevitable.

Un contexto de riesgo claro y tendencialmente creciente de las cuantiosas inversiones en obras de regulación, en la secular tradición faraónica de la Administración Hidraúlica, debería llevar, desde la racionalidad científico-técnica, a un enérgico viraje hacia una verdadera Política del Agua Sostenible. Esta Política a la cual han ido evolucionando hace décadas países como EE.UU., donde son escasas las nuevas presas que hoy se construyen, debería pivotar ante todo sobre la Gestión de la Demanda y las Aguas Subterráneas y ser aplicada por una Administración del Agua pluridisciplinar y más orientada a la gestión y la protección del recurso y las dimensiones ecológicas que a la obra.

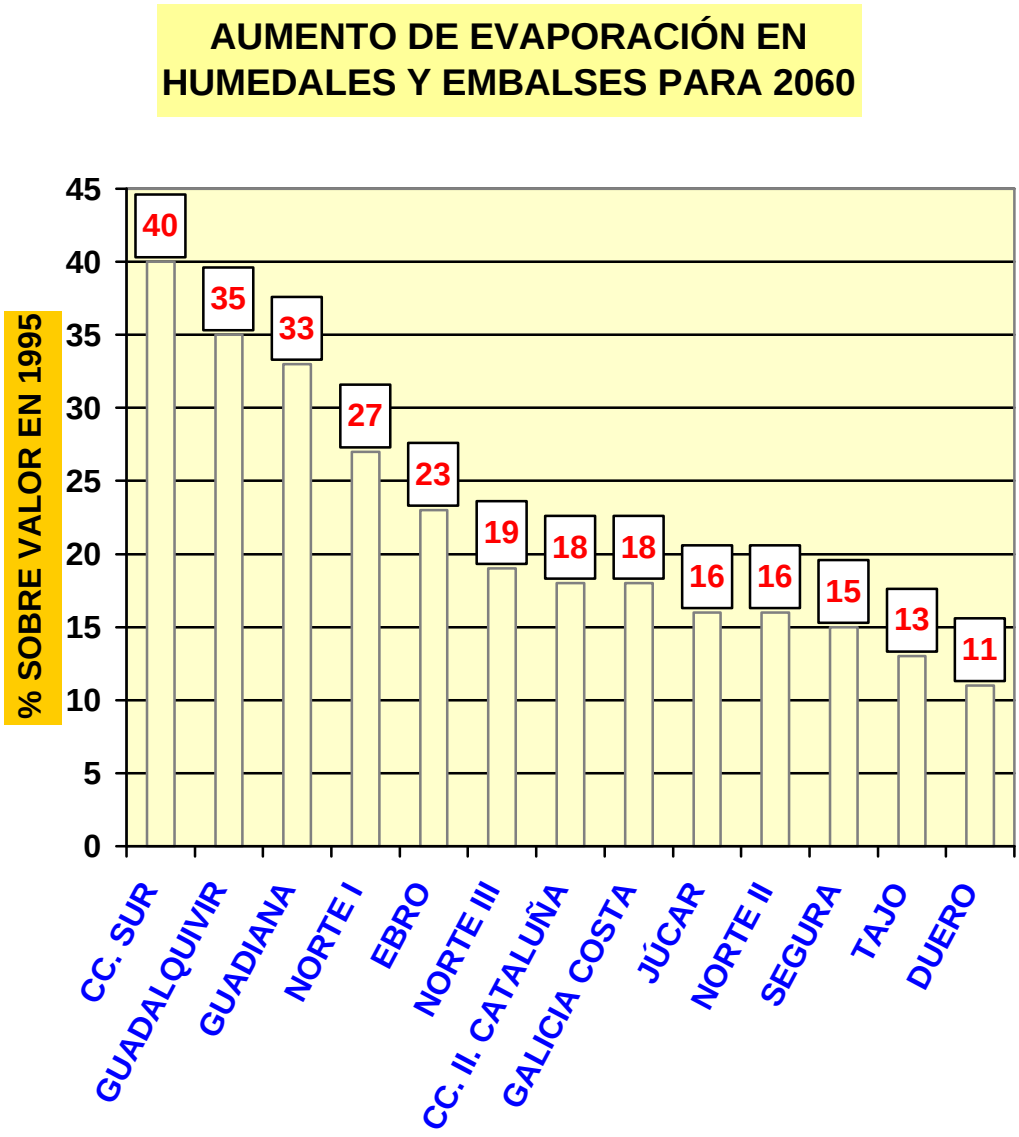

Figura 7.-El aumento de evaporación en lámina libre producido por el aumento de temperatura del Cambio Climático es muy probable lleve a los humedales ibéricos a graves crisis ecológicas (Ayala-Carcedo, 1996)

Agradecimientos

El autor desea agradecer el permiso para la impresión de esta Ponencia, corregida y aumentada, al II Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua.

Bibliografía

- Almarza, C. (2000). Respuesta al Calentamiento Global de la serie de temperatura media anual de Madrid. *Actas de la II Asamblea Hispano-Lusa de Geodesia y Geofísica*

- Arrojo, P. y Gracia, J.J. (2000). Los *trasvases del Ebro a debate*. Nueva Cultura del Agua, serie Informes, 8, 27 pp.
- Ayala-Carcedo , F.J. (1996). Reducción de los recursos hídricos en España por el posible Cambio Climático. *Tecnoambiente*, Madrid, septiembre
- Ayala-Carcedo, F.J. (2000). Análisis de sostenibilidad y alternativas al Plan Hidrológico Nacional. *Tecnoambiente*, Madrid, en prensa
- Ayala-Carcedo, F.J. e Iglesias, A. (2000). Impactos del posible Cambio Climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en la España Peninsular. In Balairón edit., *El Cambio Climático*, El Campo de las Ciencias y las Artes, Servicio de Estudios del BBVA, Madrid, 201-222.
- Ayala-Carcedo, F.J. y Piserra, Mª T. (2000). Impactos del Cambio Climático sobre la economía y los seguros en Europa. *Gestión de Riesgos y Seguros*, MAPFRE, Madrid, 15-20
- Castillo, F.E. y Giménez Ortiz, R. (1965). *Evapotranspiraciones potenciales y balances de agua en España*, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- CEDEX (1997). *Estudio sobre el impacto potencial del cambio climático en los recursos hídricos y las demandas de agua de riego en determinadas regiones de España.* Informe técnico para el Ministerio de Medio ambiente de España. Madrid
- Coutagne, a. (1954). Quelques considerations sur le pouvoir évaporant de l´atmosphère et le déficit d´écoulement maximum. *L´Houille Blanche*. Paris
- Delibes, M.(1988). *La fauna ibérica*. Anaya, Madrid, 126 pp.
- Easterling, D. R.; Meehl, G.A.; Parmesan, C. ; Changnon, S.A.; Karl, T.R. and Mearns, L.O. (2000). Climate Extremes: Observations, Modeling and Impacts. *Science*, Vol. 289, 22 september 2000, 2068-2074
- Houghton, J.T., Jenkins, G.J. y Ephraums, J.J. eds (1990). *The Climatic Change. Scientific Assessment of the IPCC*. Cambridge University Press, trad. Por el Instituto Nacional de meteorología en 1992.
- Instituto Nacional de Meteorología (1995). *Informe de España sobre el Cambio Climático*. Convenio Marco sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas.
- Issar, A. A. and Makover-Levin, D. (1993). Climate changes during the Holocene in the Mediterranean Region. In Angelakis and Issar, *Diachronic Climate Impacts on Water Resources*, NATO ASI Series, Vol. 16, 55-75
- Jiménez Beltrán, D. (2000). Reflexiones sobre el proyecto de PHN. *Agua y Energía*, suplemento de la revista Tiempo, diciembre, 066-071
- Martínez, J.C.(1997). *El Delta del Ebro*. Jaguar Ediciones, Madrid, 191 pp.
- Mc Mahon, T.A. y Mein, R.G. (1986). River and reservoir yield. *Water resources Publication*. Colorado
- MIMAM (1998). *Libro Blanco del agua*. 855 pp.
- Mimikou, , M.A.; Baltas, E.; Varanou, E. y Pantazis, K. (2000). Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. *Journal of Hydrology*, 234, 95-109
- Parry, M.; Parry, C. and Livermore, M. Edits. (2000). *Valoración de los efectos potenciales del Cambio Climático en Europa (Informe ACACIA de la Comisión europea, Resumen y Conclusiones)*. Universidad de Castilla-La Mancha-Iberdrola, toledo, 29 pp.
- Pedreño, M. y Domingo, J. (2000). Regadíos ilegales en la Región de Murcia. *El Ecologista*, 23, 49-52.
- Prat, N. (2000). Un Delta en apuros. *Agua y Energía*, suplemento de la revista Tiempo, diciembre, 063

- Quereda, J.; Gil Olcina, A.; Pérez Cuevas, A.; Olcina Cantos, J.; Rico Amorós, A.y Montón, E. (2000).Climatic warming in the spanish Mediterranean: natural trend or urban effect. Kluwer Acad. Publis., Netherlands, *Climatic Change* 46, 473-483.
- Tomás, E. (1997). Un ejemplo de inversión ahorradora de agua: la remodelación de la Acequia Real del Júcar, in *La economía del Agua en Españ*a, Fundac. Argentaria-Visor, Madrid, 183-207.
- Turc, L. (1954). Le bilan d´eau des sols: relations entre les precipitations, l´évaporation et l´écoulement. *L´Houille Blanche*, Paris