



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Prospectiva de cambios de ocupación del suelo y uso del agua en España en 2030

Autor: Paloma Ruiz Benito

Institución: Universidad de Alcalá

E-mail: palomaruibenito@gmail.com

Otros autores: Fernando Prieto



RESUMEN:

Se realizan tres escenarios de los posibles cambios de ocupacion del suelo en España y su demandas hidricas en un entrono de cambio climatico y de mayor irregularidad en las precipitaciones



1. INTRODUCCIÓN

El ciclo hidrológico tiene un papel fundamental en la climatología, ecología y biogeoquímica del planeta (Vörösmarthy y Sahagian, 2000). En la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (Millenium Ecosystem Assessment, 2005) se prevé que la regulación del ciclo hidrológico aumente o decrezca en función del cambio de los ecosistemas y la localización, un descenso en la calidad del agua y en la cantidad necesaria por su uso insostenible. Es necesaria la integración de las necesidades sociales y la funcionalidad de los ecosistemas (Baron et al., 2007), estando ambos relacionados por el efecto de la actividad humana sobre los recursos y los bienes y servicios ecosistémicos que estos reportan al ser humano.

Existen antecedentes sobre la realización de escenarios como herramientas para la evaluación ambiental (AEMA, 2001). En concreto, respecto al uso de escenarios en la política hidrológica, es necesario considerar las simulaciones del World Water Council. Desde 1987, ha desarrollado escenarios con el objetivo de tener una visión del agua mundial (*World Water Vision*) y de aumentar la concienciación respecto a los desafíos globales, como resultado se produjo el modelo *World Water situation in 2025*, descrito por Cosgrove y Rijsberman (2001). Este modelo contempla el diseño de escenarios y una modelización numérica que lleva a éstos. Realizan una aproximación de arriba abajo (*top down*) y una simulación numérica de abajo a arriba (*bottom up*).

Este estudio es una primera aproximación a las variables clave necesarias para determinar cómo el diferente crecimiento de zonas urbanas y agrícolas causaría cambios sobre el ciclo hidrológico. En conjunto, los cambios implicarán efectos sobre el bienestar o calidad de vida de las actuales y futuras generaciones, por ello es interesante diseñar y evaluar escenarios futuros con la idea de tomar medidas para llegar a futuros sostenibles respecto al ciclo hidrológico y la ocupación del suelo.

El objetivo del presente trabajo es examinar los efectos previsibles sobre el ciclo hidrológico de diferentes escenarios hipotéticos sobre la evolución de la ocupación del suelo, y discutir la importancia de la planificación de la ocupación del suelo a corto plazo sobre la disponibilidad del agua en España.

Se realiza la simulación de las posibles tendencias de las coberturas del suelo en tres escenarios posibles: (1) Tendencial, en el que se iteran los cambios de cobertura y uso del suelo producidos en toda la superficie española (2) Mad-Max, en el que se determina un incremento importante de la superficie artificial, hasta llegar a niveles similares a los de Francia o Italia, y del regadío (3) Technogarden, en el que se prevé una estabilización del crecimiento de la superficie artificial y una ligera disminución de la superficie de regadíos.

Cambios de ocupación del suelo en España, uso del agua y efectos sobre el ciclo hidrológico

Conocer los cambios en la extensión de los principales ecosistemas es fundamental para evaluar los procesos de sostenibilidad del sistema (Constanza, 1997; Zhao, 2004). Se consideran indicadores de sostenibilidad “fuerte” ya que determinadas categorías de ocupación del suelo suponen un capital no reemplazable, ni sustituible, especialmente por la irreversibilidad de algunos procesos observados. En el caso de la urbanización este proceso es especialmente irreversible, y es elevada en deforestación o pérdida de humedales (Pearce, 1993). Los cambios de ocupación del suelo tienen diversos efectos



acumulativos en la cantidad y calidad de agua disponible (Allan and Flecker, 1993; Wear et al., 1998).

En España existen una gran diversidad de entornos hidrológicos (MMA, 1998). En el presente trabajo se describirán cambios promedio, pero es evidente que será necesario matizar y discriminar mucho más para poder modelizar las diferentes realidades. Se pueden determinar las interacciones entre las diferentes coberturas del uso del suelo y el ciclo hidrológico:

- La vegetación natural y, especialmente, la cubierta forestal es protectora del suelo y afecta a la infiltración del agua de lluvia, el desarrollo radicular establece la estructura de las partículas y poros del suelo, lo que influye directamente en las tasas de infiltración y en las tasas de retención de agua, además de aumentar la evapotranspiración y disminuir la escorrentía.
- Las superficies agrícolas poseen diferentes tasas de infiltración, escorrentía y evapotranspiración. Los cultivos de regadío son los que presentan mayores impactos negativos en el ciclo hidrológico, las elevadas demandas de agua afectan a la calidad del agua, por el uso de fertilizantes y fitosanitarios, y cantidad de agua disponible, ya que suponen las mayores demandas (80% del total demandado en España).
- Las zonas sin cubierta vegetal y excesiva pendiente facilitan procesos de erosión, con un aumento de las escorrentías y una disminución de la infiltración.
- La urbanización modifica el ciclo hidrológico aumentando las escorrentías (Weng, 2001), y ocupando en muchas ocasiones zonas agrícolas de interés y fragmentando el paisaje (Henríquez y Azocar, 2000). Por otra parte, genera unas demandas muy determinadas que implican, una vez concedidas, fuertes garantías de uso.

En el análisis de los cambios de ocupación del suelo (**Tabla 1**) se observa que se han producido cambios muy rápidos en el territorio, con importantes implicaciones ambientales, económicas y sociales. Los cambios más profundos, y posiblemente trascendentes, son los relacionados con dos procesos: la creación de superficies artificiales y zonas de regadío. Se debe considerar la localización espacial de estos cambios que influye activamente sobre las restricciones o limitaciones económicas, sociales y ambientales, las garantías de uso o probabilidad de asegurarlo por parte del sistema de gestión.

Tabla 1: Procesos observados en los cambios de ocupación del suelo 1987-2000 en los tipos de uso del suelo del nivel 1 del CLC (Corine Land Cover) excepto clase 5 y su efecto sobre el ciclo hidrológico.

	TENDENCIAS OBSERVADAS	EFFECTOS SOBRE EL CICLO HIDROLOGICO

	TENDENCIAS OBSERVADAS	EFFECTOS SOBRE EL CICLO HIDROLOGICO
<p>Superficie artificial</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2,1% de la superficie total • Fuerte incremento, con gran dinamismo en el litoral 	<p>Incremento de un 29,5% de superficies artificiales con un alto desarrollo sobre tierras de labor y cultivos permanentes, zonas cubiertas por pastizales (20.879 ha), vegetación esclerófila (18.577 ha) y bosques (14.854 ha).</p> <p>El importante ritmo de artificialización del suelo en el interior y la franja litoral de España peninsular, tiene un carácter marcadamente irreversible que provoca efectos ambientales negativos sobre recursos ambientales como el agua, atmósfera y ecosistemas.</p> <p>Han afectado negativamente a los humedales de la costa.</p>	<p><i>Puntos de demanda con altas garantías de uso (MMA, 2006)</i></p> <p><i>Aumento de escorrentía y disminución de recarga de acuíferos.</i></p> <p><i>Efectos en la calidad de las aguas (MMA, 2005)</i></p> <p><i>Rápido crecimiento de la población unida a la problemática creciente entre distintos usuarios y distintas Administraciones regionales o locales por el uso y el reparto del agua (Vlachos y Evan, 2003)</i></p> <p><i>Estacionalidad en el uso por uso turístico</i></p> <p><i>Escasez de depuración de aguas residuales en tratamiento terciario.</i></p>
<p>Superficie agraria</p> <ul style="list-style-type: none"> • 49,9% de la superficie total • Importantes transformaciones internas 	<p>Ligero descenso de las zonas agrícolas con intensificación en el tipo de cultivos: aumento de regadíos, descenso de secanos, abandono de zonas agrícolas marginales y pérdida de zonas agrícolas heterogéneas.</p> <p>La mayor parte de la pérdida de suelo agrícola se produce por el paso a superficies artificiales, y en menor medida a forestal desarbolado y espacios abiertos, y bosque.</p>	<p><i>Política de expansión de regadíos para buscar mayor productividad y diversificación (MMA, 2006).</i></p> <p><i>Aumento del consumo de agua.</i></p> <p><i>Descenso de la calidad del agua por uso de fertilizantes y pesticidas.</i></p> <p><i>Aumenta la evapotranspiración por aumento de la biomasa vegetal tras abandono rural</i></p>
<p>Superficie forestal y otras</p>	<p>Ligera reducción por aumento de superficies artificiales, de zonas agrícolas. a pesar de la colonización</p>	<p><i>Efectos sobre la infiltración y percolación, aumento</i></p>

	TENDENCIAS OBSERVADAS	EFFECTOS SOBRE EL CICLO HIDROLOGICO
superficies <ul style="list-style-type: none"> • 47,1% de la superficie total • Fuertes transformaciones internas 	sobre zonas agrícolas en zonas marginales. Importantes superficies quemadas. Disminución de glaciares y zonas de nieves permanentes, que pueden estar relacionadas con el proceso global del cambio climático o con distintos ciclos climáticos cortos. Fuertes intercambios dentro de la clase.	<i>de la escorrentía.</i> <i>Efectos sobre evapotranspiración.</i> <i>Disminución de recursos hídricos.</i>
Zonas Húmedas <ul style="list-style-type: none"> • 0,2% de la superficie total • Ligera disminución 	Los <i>humedales y zonas pantanosas</i> han sido sustituidos en parte por <i>zonas agrícolas</i> (40%, en su mayor parte regadíos), el 25% por <i>salinas</i> (25%) y <i>embalses</i> (18%). El 80% de las <i>lagunas costeras y estuarios</i> que ha desaparecido ha sido reemplazada por <i>zonas industriales, comerciales y de transporte</i> y el 45 % de las <i>marismas</i> que han sido reemplazadas por otras ocupaciones del suelo se han transformado en <i>salinas</i> , el 26% en <i>zonas agrícolas</i> y el 25% en <i>superficies artificiales</i> .	<i>Efectos de disminución de caudales</i> <i>Disminución de la disponibilidad de aguas subterráneas por la sobreexplotación de acuíferos (Vlachos y Evan, 2003)</i>
Láminas de agua <ul style="list-style-type: none"> • 0,7% • Incremento 	Aumento de superficies artificiales por realización de embalses (20%), a partir de <i>zonas forestales con vegetación natural</i> (casi el 60%).	<i>Aumento de evaporación.</i> <i>Aumento de la capacidad de almacenamiento (MMA, 1998)</i>

Fuente: elaboración propia a partir de datos de *Cambios en la Ocupación del suelo en España* (OSE, 2006).

España es uno de los países con más crecimiento de la superficie artificial (ritmo medio anual de 1,9%), junto a Irlanda y Portugal, muy por encima de la media de los 23 países del programa CLC2000 (proyecto Corine Land Cover 2000 relativo a la comparación de la ocupación del suelo entre los años 1990 y 2000) de un 0,68%. (AEMA, 2005) El tipo de crecimiento económico (dependiente de sectores de altos consumos de suelo, como la construcción, el transporte y el turismo), la consolidación y profundización del nuevo modelo de urbanización dispersa y la fuerte inversión en infraestructuras de transporte durante el período 1987-2000, son las causas principales. El importante ritmo de artificialización del suelo en el interior y la franja litoral de España tiene un carácter marcadamente irreversible que provoca efectos ambientales negativos sobre recursos ambientales como el agua, atmósfera y ecosistemas.

En España, la superficie de terrenos regados permanentemente ha aumentado (10,3%), como resultado de la relación entre la transformación de zonas forestales con vegetación



natural y espacios abiertos a zonas agrícolas, por un lado, y la pérdida de zonas agrícolas que se transforman en superficies artificiales por otro.

Cambios en el uso del agua

Los principios orientadores en la gestión del agua de la Administración Hidráulica deben considerar la eficiencia, equidad y conservación para lograr un desarrollo sostenible. Los datos del uso del agua en España son una de las principales variables que se pueden asociar con los usos del suelo y, por tanto, condicionan la calidad y cantidad de las aguas superficiales y subterráneas en función de la demanda, uso y tratamiento posterior.

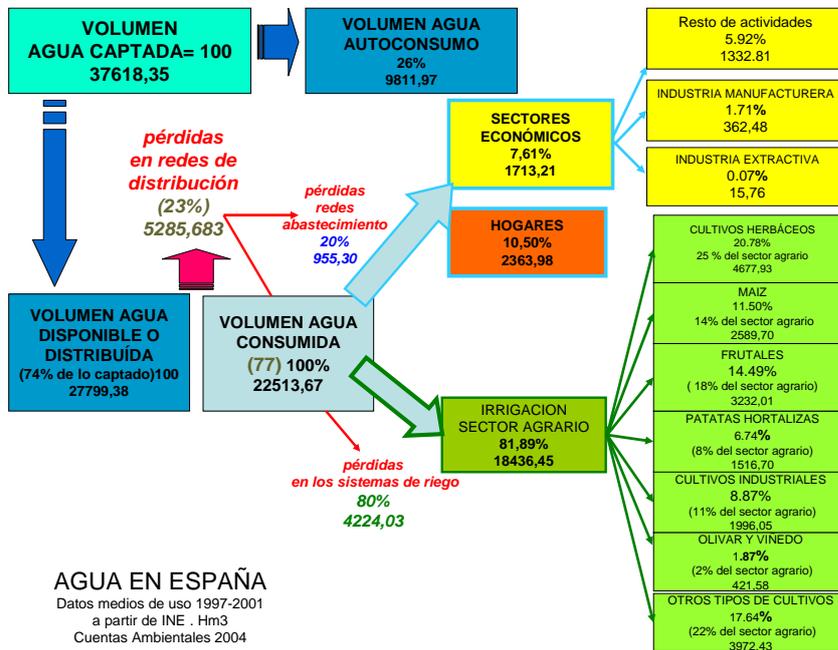
El uso del agua ha crecido más o menos exponencialmente con el crecimiento de la población y el desarrollo industrial (Vörösmartry y Sahagian, 2000). En España se prevé un incremento de la población en los próximos decenios que determinarán un incremento del consumo del agua.

- La población en el año 2030, según estimaciones del INE se cifra en más de 50 millones de habitantes, con un incremento anual por la llegada de extranjeros, del orden de unas 250 mil personas. También se prevé un aumento de la esperanza de vida y del número de hijos por mujer.
- El número de turistas que pueden llegar a España para el año 2025 se estima en unos 109 millones, aumentando un 60% durante el primer cuarto de siglo. Según el Plan Azul, un observatorio del Medio Ambiente y del desarrollo sostenible de la cuenca mediterránea impulsado por la ONU, el turismo es “uno de los grandes pilares de la economía española”. Se estima que la densidad de población en la costa mediterránea de España siga creciendo, hasta alcanzar 172 personas por kilómetro cuadrado, mientras que la media del país será de 81 personas y la de las zonas costeras de todo el Mediterráneo será de 156.

En consecuencia, habrá importantes incrementos de consumo de agua para uso urbano. Por otra parte, se prevé que caerá la población de zonas rurales hasta quedar en 7,82 millones de habitantes (un descenso del 1,7%). Todo ello provoca una serie de desequilibrios territoriales que aumentan los efectos locales y estacionales de déficit de agua y el sobredimensionamiento de las infraestructuras (MMA, 1998). La evaluación del riesgo IMPRESS muestra que el 9% de las masas de agua tiene un riesgo seguro de repercusiones de la actividad humana sobre el estado de las aguas superficiales, el 72% carece de información y el 19% tiene un riesgo nulo (MMA, 2005).

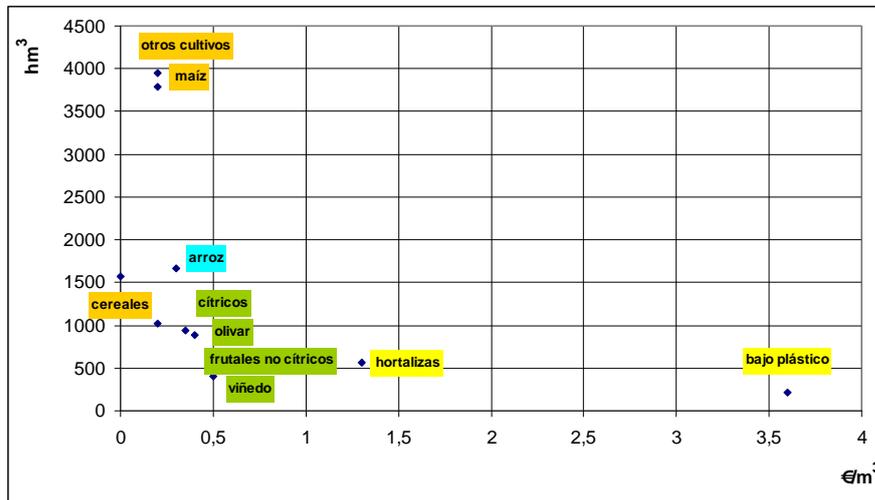
La **Figura 1** muestra que existen importantes pérdidas en las redes de distribución, de abastecimiento y en los sistemas de riego. Respecto al agua en regadío se observa que las técnicas de riego son poco eficientes en el 47% del volumen de agua usada. La irrigación del sector agrario supone un 81% del total disponible, una vez descontadas las pérdidas. Tres grandes grupos de cultivos, cereales, maíz y otros cultivos presentan un gran consumo de agua y escaso valor añadido. Siguen arroz, árboles frutales y vid y, finalmente, hortalizas y cultivos bajo plástico, con un consumo de agua escaso y gran valor añadido (**Figura 2**), con amplias zonas en España de escaso margen neto en el regadío.

Figura 1. Volumen de agua captada, su uso y consumo en España. Datos (Hm^3) medios del periodo 1997-2001 a partir de INE, Cuentas Ambientales 2004.



Fuente: OSE, 2005.

Figura 2. Margen neto de los cultivos agrícolas.

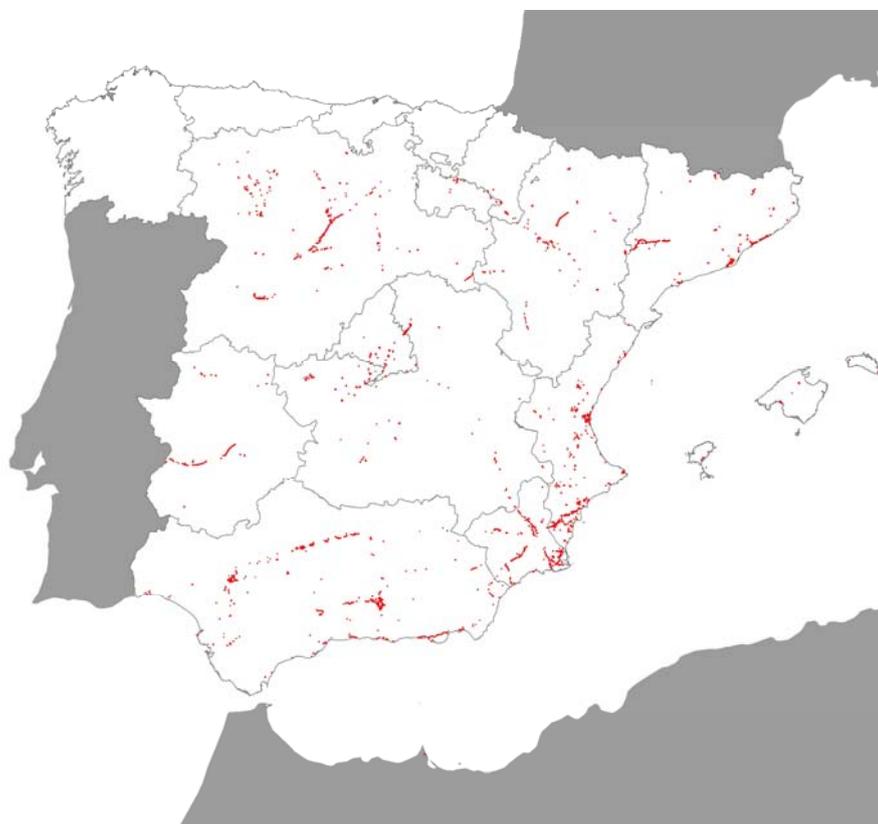


Fuente: Grupo de análisis económico del agua, Ministerio de Medio Ambiente, 2007.

Competencia entre superficie artificial, superficie de regadíos y zonas húmedas naturales

Además de los consumos de agua de las superficies de regadío y de las superficies artificiales, se está produciendo una competencia entre diferentes tipos de ocupación del suelo relacionados con el agua. Así se observan distintos procesos de sustitución de zonas de regadío por zonas artificiales. El proceso comienza en muchas ocasiones creándose un regadío a partir de secano y posteriormente transformándose en zonas artificiales. Este proceso se ha producido en España entre 1987 y el año 2000 en un total de 36 mil hectáreas. La **Figura 3** muestra donde se ha producido este proceso.

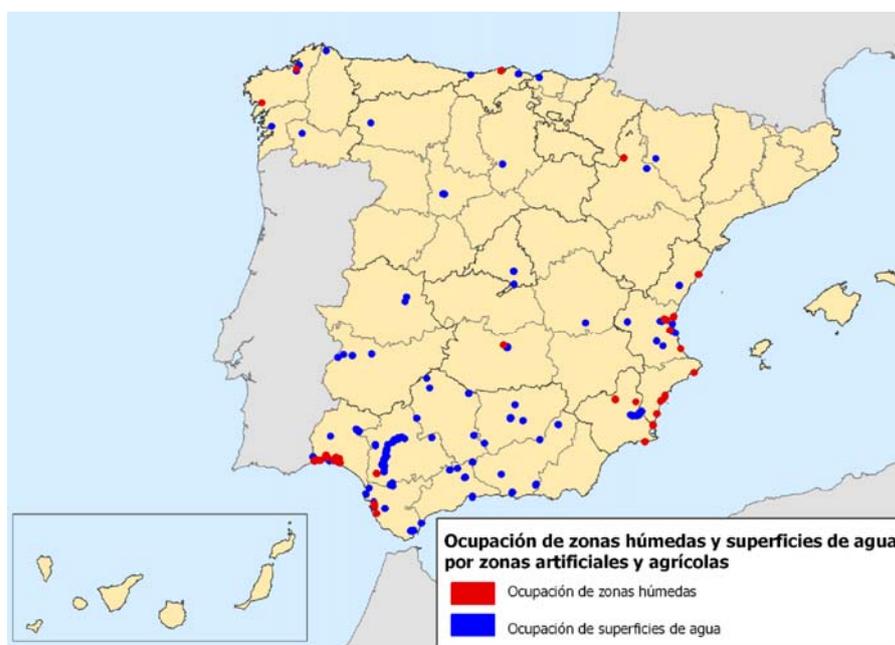
Figura 3. Incremento de superficie artificial sobre superficie agrícola de regadío. 1987-2000.



Fuente: *Elaboración propia a partir de CORINE Land Cover.*

Otro proceso que se ha producido de cambios de ocupación del suelo relacionado con el agua es el visualizado en la **Figura 4** donde se observa cómo se han perdido zonas húmedas naturales y láminas de agua por el aumento de la artificialización y el incremento de zonas agrícolas. Este proceso según los datos Corine Land Cover 1987-2000 se ha producido en un total de 2.537 ha, de las cuales el 31% corresponde a aumento de zonas artificiales y el resto (69%) a un aumento de las zonas agrarias.

Figura 4. Pérdida de zonas húmedas naturales y láminas de agua por aumento de superficie artificial y de zonas agrícolas de regadío. 1987-2000.



Fuente: *Elaboración propia a partir de CORINE Land Cover.*

Condiciones de contorno y su previsible afección a los escenarios

Se consideran tres grandes variables o condiciones de contorno que pueden condicionar de una forma importante los cambios de ocupación del suelo y su influencia sobre el ciclo hidrológico: a) cambio climático, b) desarrollo tecnológico y c) nuevas exigencias sociales.

a) Las tendencias previsibles de cambio climático en España son por una parte de un incremento de las temperaturas y en cuanto a las precipitaciones, aunque con mayor incertidumbre, presentan una mayor irregularidad y una ligera tendencia a la reducción, siendo más acusadas estas tendencias cuanto mayores son las emisiones de gases de efecto invernadero según la evaluación preliminar de los impactos en España (Oficina Española de Cambio Climático, 2005). El informe muestra que los ecosistemas acuáticos continentales pueden sufrir importantes cambios por la transformación en estacionales, poniendo en peligro floras y faunas singulares y específicas, siendo además probable que afecten al abastecimiento de aguas.

El cambio climático influye indirectamente sobre las condiciones meteorológicas que determinan el ciclo hidrológico, mientras que los impactos ambientales derivados de la actividad humana influyen directamente. Es necesario para la gestión del recurso la consideración de ambos aspectos.



Ruiz y Zavala prevén escenarios climáticos y de emisiones considerados con una disminución sensible de la productividad primaria neta potencial (PPNP) en España, particularmente en los tercios meridional y suroeste peninsular (OSE, 2006). Los modelos bioclimáticos prevén una reducción del área de distribución de las especies, que implicaría desplazamientos altitudinales y longitudinales (Benito Garzón et al., 2007). Esta adaptación de los ecosistemas forestales al cambio climático también estará relacionada con la futura gestión de las masas forestales.

b) Un mayor desarrollo tecnológico, capacidad de intervención (previsible y deseable) e importancia de recursos locales no convencionales. En este sentido es necesario completar el ciclo del agua en las industrias y zonas urbanas (asegurando la depuración y control de vertidos), aumentar la implantación y eficacia de métodos no convencionales (reutilización, desalación), incentivar el uso de sensores en la agricultura, sistemas de información geográfica para el uso del agua, etc.

c) Finalmente, es previsible un aumento de la exigencia social y concienciación hacia la calidad de vida y condiciones ambientales saludables. Por tanto, es previsible una mejora de las condiciones ambientales de los ríos y caudales ecológicos, restauración de ecosistemas de ribera, etc. Hay que recordar que, en los ecosistemas terrestres naturales, la cantidad de agua promedio que consume la vegetación (evapotranspiración) es al menos un tercio de la precipitación anual (Margalef 1997), cifra necesaria para su sostenibilidad, manteniendo todas sus funcionalidades

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Fuentes de información

Se ha utilizado la información disponible sobre el estado actual y los cambios de ocupación del suelo producidos en España, procedente del proyecto CORINE Land Cover (CLC). La clasificación jerárquica del proyecto CORINE permite el análisis de los cambios de cobertura del suelo en diferentes estados de agregación. Esto, unido a que el objetivo fundamental del proyecto CORINE es la captura de datos tipo numérico y geográfico, y la permanente actualización de la base de datos geográfica (IGN, 2000), determina la elección de la fuente de información para el análisis de los efectos de los cambios de cobertura del suelo sobre el ciclo hidrológico.

Para la información de los usos del agua y su relación con el consumo asociado a diferentes coberturas de suelo de interés (artificial y agrícola) se han utilizado estadísticas disponibles en el INE (Instituto Nacional de Estadística). También se han utilizado las diferentes simulaciones realizadas por el grupo de Análisis Económico del Ministerio de Medio Ambiente, publicados en los diferentes informes (2007a, 2007b) y por el grupo de la Universidad de Córdoba sobre estimaciones del consumo de agua en las zonas agrarias (Berbel, 2007).

Diseño y evaluación de escenarios: prospectiva para 2030

Se han realizado estimaciones sobre la posible evolución futura de zonas artificiales y de regadío en España, y su efecto sobre el resto de coberturas del suelo y posibles implicaciones en la gestión del agua. Los escenarios se han inspirado en los escenarios realizados por el World Water Council, que intentan predecir la situación en el año 2025 (Cosgrove y Rijsberman, 2001), y se ha considerado que la urbanización es uno de los principales factores que organiza los regímenes de perturbación (Wear et al., 1998). En los escenarios definidos hay dos elementos: un guión y un modelo numérico. El modelo



refuerza el guión en cada uno de los distintos escenarios. En el presente artículo se desarrollan los guiones que posteriormente se completarían con simulaciones numéricas más detalladas que consideren la variable espacial, ya que los cambios en el uso del suelo generalmente vienen determinadas por características topográficas y de localización, con modelos de simulación basadas en series temporales más amplias. Los modelos basados en regresiones establecen relaciones entre las probabilidades de cambio de uso del suelo y variables predictivas (Henríquez y Azocar, 2000).

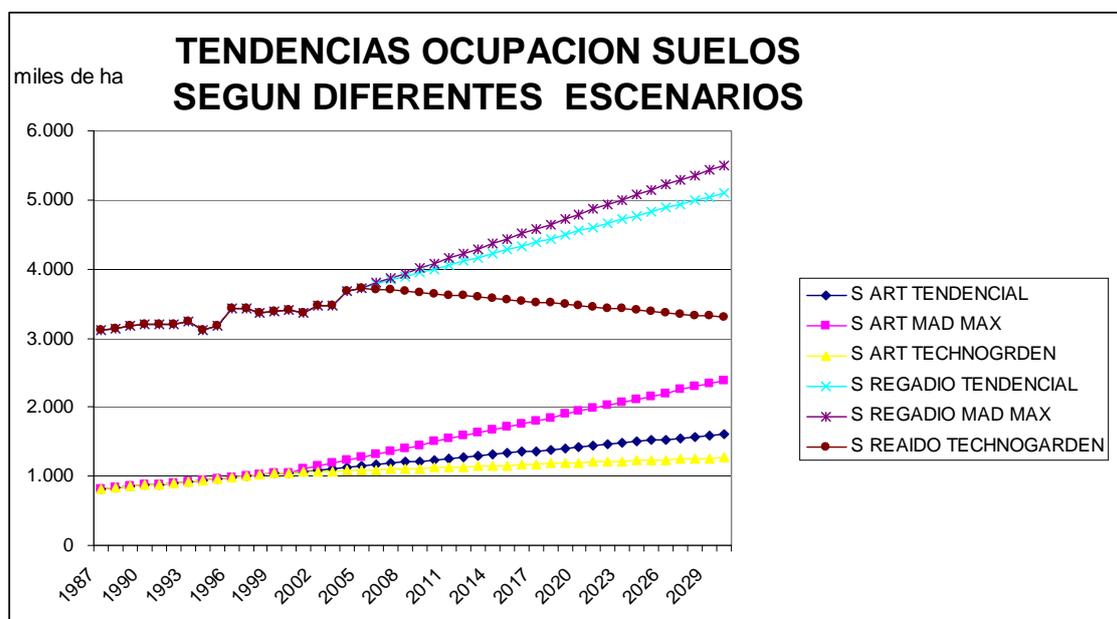
Se han considerado tres posibles escenarios de cambio para 2030 definidos por métodos sencillos tres de regresión: **(Figura 5)**

1. Tendencial. El ajuste es lineal mediante cadenas sencillas de Markov para superficies artificiales (nivel 1 del proyecto CLC) según la tendencia lineal de los cambios acaecidos entre 1987 y 2000. Se considera que la superficie de regadío aumentaría de una forma más lenta que la tendencia actualmente existente. Seguiría la tendencia actual de consumo/formación de superficie forestal, con importantes incendios forestales cada cierto número de años, y por otra parte con repoblaciones forestales y abandono generalizado de la superficie forestal.

2. Mad Max. Se estima un mayor incremento de las superficies artificiales y de regadíos. El incremento de la construcción y el desarrollo de infraestructuras llegaría a los parámetros de los países de nuestro entorno como Francia o Italia (si bien estos países tienen otras condiciones más favorables respecto a la disponibilidad de agua). Respecto a las superficies de regadío, se mantendrían las tendencias seguidas de incremento de superficie de regadío desde la década de los 40 en España, tendencia que va a ser poco probable mantener en los próximos años. Se acentuarían las tendencias de abandono de gestión del sector forestal, con lo cual habría mayor probabilidad de incendios y estos se producirían con mayor frecuencia, extensión e intensidad.

3. Technogarden. Se realiza un ajuste logarítmico desde los cambios acaecidos en el periodo 1987-2000 en las superficies artificiales, de forma que se alcanzaría rápidamente la asíntota en el crecimiento de zonas urbanas, aumentando ligeramente desde las cifras del año 2000, con un comportamiento similar a las previsiones de la población. Por otra parte, disminuirían ligeramente las superficies de regadío, eliminando las superficies de zonas más áridas y de menor valor añadido. Los ecosistemas forestales se tratarían adecuadamente a la previsión de los efectos que puede tener el cambio climático. Se fomentaría una gestión forestal adaptativa, y favorecerían especies arbóreas del grupo de las quercíneas. Se realizaría una gestión proactiva en mosaicos adaptada a las condiciones y la biodiversidad existente y a los efectos previsibles del cambio climático en cada zona. Se intentaría reducir la frecuencia, intensidad y extensión de los incendios forestales. El resultado sería un ciclo hidrológico más tamponado y menor erosión.

Figura 5. Tendencias ocupación suelos según diferentes escenarios. Datos en miles de ha.

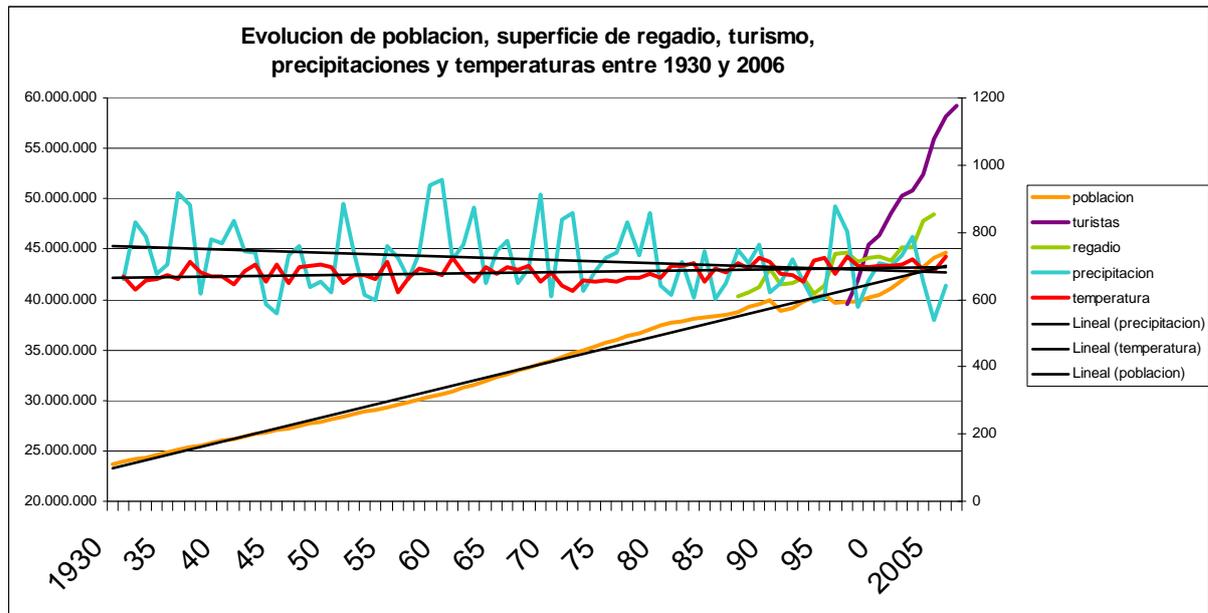


Fuente: *Elaboración propia.*

Los servicios de los ecosistemas, entre los que están las funciones reguladoras del ciclo hidrológico, no están incluidos en un sistema de mercado o no son cuantificados en términos comparables con los servicios económicos y capital manufacturado. Por ello a menudo tienen poco peso en las decisiones política (Constanza, 1997) y no se han considerado.

En la **Figura 6** se observan las tendencias desde 1930 de algunas variables relacionadas con el agua en España. Se advierte la ligera disminución de la precipitación, el ligero aumento de las temperaturas, el importante aumento de la población y el muy importante aumento de llegada de turistas. Las tendencias indican que habrá un punto de corte entre demandas y disponibilidades de recurso.

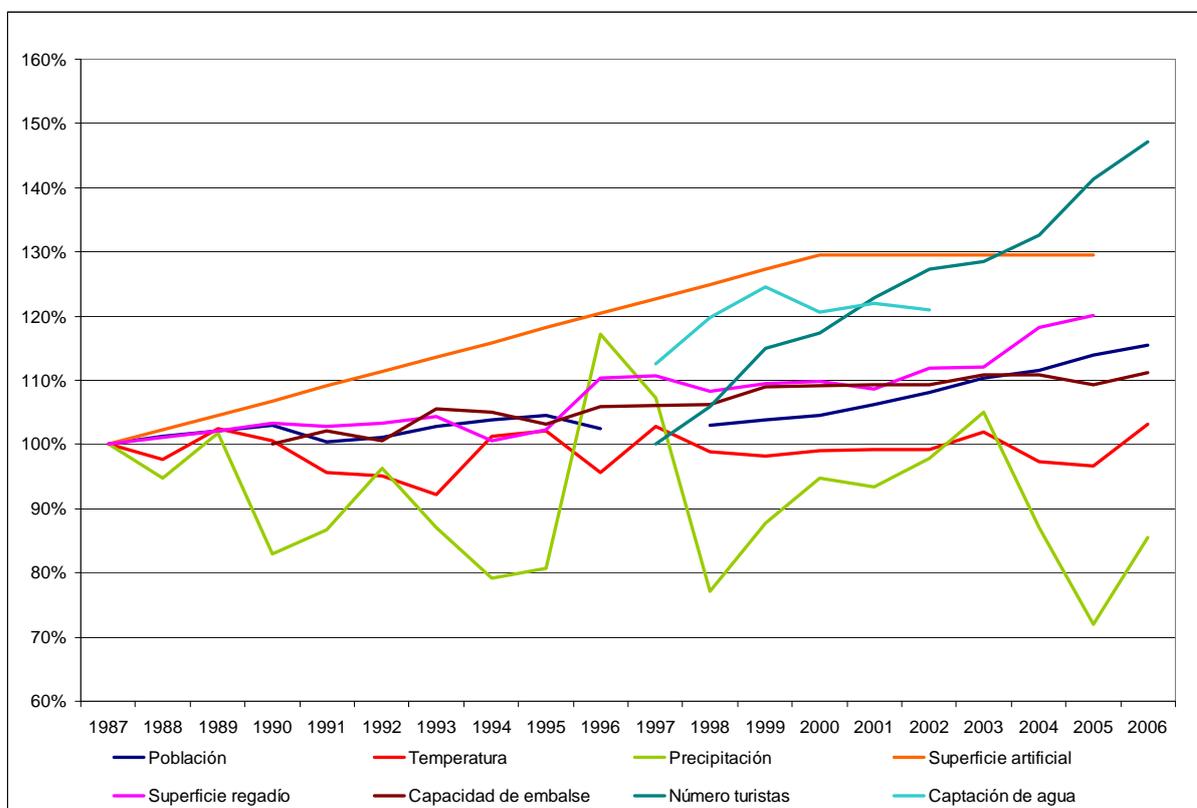
Figura 6. Tendencias a largo plazo de población en España, llegada de turistas, precipitación y temperaturas medias peninsulares.



Fuente: *Elaboración propia*

En la **Figura 7** se observan las tendencias recientes de una serie de variables relacionadas con el uso del agua y los cambios de ocupación del suelo en España. Se observa cómo la precipitación disminuye de un factor 100 a un factor 86, la temperatura aumenta muy ligeramente (de un factor 100 a 103). El número de turistas, pasa de 100 a 147, y la población aumentan de un factor 100 a 115. La superficie de regadío pasa de un factor 100 a un factor 120. Las superficies artificiales pasan de un valor 100 a un valor 120. La capacidad de embalse pasa de un valor 100 a un valor 111 y la captación de agua de un factor 100 a un factor 121.

Figura 7. Tendencias recientes de variables significativas relacionadas con el uso del agua en España (1987-2006).



Fuente: *Elaboración propia*

La evaluación de los escenarios se ha realizado proyectando los consumos de agua asociados a los cambios de ocupación del suelo de los diferentes escenarios, asumiendo en esta primera aproximación la ausencia de cambios en la eficiencia o intensidad de consumo por unidad de superficie. Tras describir las predicciones asociadas a cada escenario, se han identificado las tendencias clave de cambio de superficies y cultivos de regadío y sus principales efectos sobre el ciclo hidrológico.

3. RESULTADOS

En la realización de los escenarios se alcanzan diferentes tasas de cambio en el 2030. Del análisis de las tendencias observadas (**Tabla 2**) en el cambio del uso del suelo y los efectos sobre el ciclo hidrológico, se puede determinar que en caso de alcanzar los escenarios Mad Max o Tendencial se verán afectadas los humedales por su reducida extensión, necesarios para la conservación de la biodiversidad y procesos ecológicos básicos. Por otra parte, también se afectarán paisajes tradicionales y culturales de elevada importancia en el área mediterránea, como ecosistemas forestales con vegetación esclerófila. Esto es muy trascendente desde el punto de vista de conservación de los hábitats naturales y seminaturales.

Tabla 2. Cambios en el porcentaje de superficie artificial y de regadío respecto al total de España en los diferentes escenarios definidos para 2030.

	Actual (2000)	Tendencial	Mad Max	Technogarden
Artificial	2,08%	3,20%	4,70%	2,50%
Regadío	7,30%	8,89%	10,07%	6,52%

Fuente: elaboración propia

Los tipos de ocupación del suelo y su actual consumo de agua (**Tabla 3**), refleja una alta demanda unitario, unos 3,9 Hm³/ha en las superficies artificiales y un 28% más (unos 4,9 Hm³/ha) en el caso del regadío. Es evidente que existe una gran diversidad de situaciones tanto en el espacio y en el tiempo que exceden esta aproximación y que no se pueden incluir en este análisis. Sería necesario realizar simulaciones más completas mediante la inclusión de aspectos económicos, industriales y geográficos.

A pesar las probables mejoras de ahorro, la eficiencia en el uso del agua y los métodos no convencionales (desalación y reutilización), es poco previsible que se puedan aumentar las disponibilidades de agua para satisfacer las demandas de los escenarios Tendencial o Mad Max (**Tabla 3**), debido a los límites físicos de disponibilidad del recurso y los efectos del cambio climático. En este caso la magnitud de agua demandada para fines domésticos, industriales y agrícolas sería previsiblemente insostenible, provocando además efectos adversos sobre los ecosistemas y ciclo hidrológico.

Tabla 3: Consumo de agua (miles de m³) estimado en zonas artificiales y cultivos de regadío en España en 2000 y estimado para los cambios de superficie en escenarios 2030. **Fuente:** *Elaboración propia a partir de INE y CORINE Land Cover.*

	Superficie 2000 (ha)	Consumo de agua (miles m3) 2000	Consumo de agua (miles m3) Tendencia I	Consumo de agua (miles m3) Mad Max	Consumo de agua (miles m3Technogarden
Artificial	1.053.431	4.077.190	6.272.600	9.212.881	4.900.469
Regadío	3.733.155	18.436.450	22.223.568	5.196.587	16.297.283
Total	4.786.586	22.513.640	28.496.168	34.409.468	21.197.752

Fuente: elaboración propia

A partir del consumo de agua estimado, el previsible incremento en la población y los cambios de superficies artificiales y zonas agrícolas se han identificado las tendencias claves en los diferentes escenarios para 2030 (**Tabla 4**).

Tabla 4. Tendencias claves de los escenarios 2030 de cambio de superficies artificiales y cultivos de regadío.

	Tendencial	Mad Max	Technogarden
Premisa	Tendencias lineales	Tendencias negativas de sobreexplotación del recurso	Mejor distribución de zonas artificiales y reducción de las zonas de regadío y demanda de agua por mejora de tecnología.
Población	Crecimiento similar al ritmo actual	Crecimiento acelerado	Ligero crecimiento
Superficies artificiales	Llegarían a un 3,2% según las tendencias existentes (porcentaje todavía inferior a Francia, Italia o Dinamarca). Sector de la construcción clave en la economía. Competencia apreciable por el uso del suelo entre superficies artificiales y de regadío	Incremento de zonas artificiales en torno a un 4,7%, similar al actual de Francia e Italia. Importancia excesiva de la construcción en la economía. Aumento de las desigualdades territoriales. Competencia más intensa por el uso del suelo entre superficies artificiales y superficies de regadío	Aumento menor de lo experimentado entre 1987 y 2000, implicaría un ligero aumento del mismo orden que la población (una vez ocupado el actual parque vacío de viviendas). Reducción de la importancia en la economía del sector de la construcción. Crecimiento moderado de superficies artificiales, con estabilización en torno a un 2,5%.
Regadíos	Incremento lineal de superficie. Planificación diferente de las aguas superficiales y subterráneas. Intensificación en los usos, presencia de vertidos incontrolados. Sobreexplotación de acuíferos. Escasa reutilización y desalación. Incremento de la superficie de regadío, ocupando zonas con recursos	Alto incremento de superficies de regadío en zonas áridas. Sobreexplotación intensa de acuíferos. Falta de consideración de las variables ambientales en los ecosistemas. Posible uso de desalación masiva con importantes gastos de energía y efectos negativos sobre el cambio climático. Previsibles conflictos por el agua entre ciudades y cultivos agrícolas, y entre	Reducción paulatina de las superficies de regadío, de 3,7 millones de ha, hasta 3,3 millones de ha, especialmente de los cultivos de mayor gasto de agua y menor valor añadido en las zonas más áridas. Disminución de pérdidas por conducciones, con inversiones a la desalación en relación a determinadas demandas urbanas, etc. Uso de las nuevas

	escasos de agua.	diferentes territorios del Estado.	tecnologías en todo el ciclo del agua: depuración terciaria del 100% de las aguas y aumento de la reutilización. Apoyo en la gestión de la demanda, con reducción de desequilibrios territoriales. Incremento de la exigencia social.
--	------------------	------------------------------------	---

Fuente: elaboración propia

Es fundamental determinar los previsible efectos sobre el ciclo hidrológico de las tendencias identificadas en cada uno de los escenarios. En la **Tabla 5** se ilustran algunos y se explicitan algunas consideraciones sobre planificación y riesgos.

Tabla 5. Efectos sobre el ciclo hidrológico de los diferentes escenarios 2030.

	Tendencial	Mad Max	Technogarden
Cantidad de agua disponible	Escasa.	Muy escasa, tanto en el tiempo como en el espacio.	Suficiente: la disminución de regadíos liberaría recursos para usos de los ecosistemas (6%) y urbanos.
Calidad del agua	Deficiente.	Muy deficiente, por vertidos y lixiviados, uso de fertilizantes y pesticidas.	Aceptable. Mejora sustancial por la estabilización y reducción de zonas de regadíos.
Caudales ambientales, ecosistemas ligados al agua y uso recreativo	Falta de caudales ecológicos. Imposibilidad de usos recreativos del recurso. Daños en ecosistemas.	Carencia de caudales ecológicos. Imposibilidad de usos recreativos del recurso. Daños irreversibles en ecosistemas.	Preservación de caudales ecológicos (excepto en sequías). Posibilidad de usos recreativos del recurso. Ecosistemas satisfactorios. Necesidad de planes de restauración de riberas.
Planificación de la demanda de agua superficial y	Escasa planificación conjunta	Planificación conjunta muy improbable.	Probable planificación conjunta.

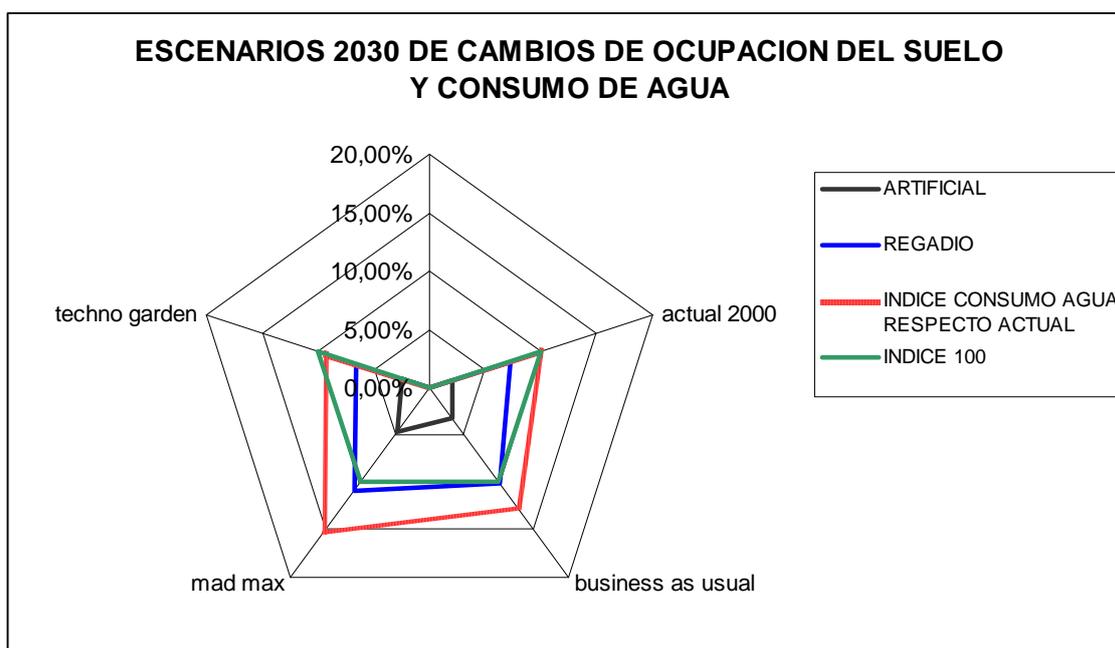
subterránea			
Competencia por el uso del recurso	Competencia muy probable entre usos agrícolas y urbanos.	Competencia segura entre usos agrícolas y urbanos.	Competencia poco probable entre usos agrícolas y urbanos.
Garantía del uso del recurso	Garantía improbable para usos agrícolas. La desalación probablemente se usará en determinadas situaciones y localizaciones. Trasvases insuficientes para los consumos de agua esperados y causante de importantes problemas ecológicos.	Garantía improbable para usos agrícolas y urbanos, sobre todo en épocas de sequía. La desalación no podría abastecer la demanda, sin un gasto muy considerable de energía. Trasvases muy insuficientes para los importantes consumos de agua esperados.	Garantía muy probable para uso urbano y probable para agrícola. Desalación optativa y complementaria, en determinadas situaciones. Utilización de los acuíferos en tiempos de sequía, permitiría mantener la garantía considerando los periodos de recarga del recurso a escala local-regional.

Fuente: elaboración propia

En la **Figura 8** se muestra las tasas de consumo de agua respecto al estado actual donde los valores superiores al índice 100 serían insostenibles. Esta situación se observa en los escenarios Mad Max' y Tendencial.

Se comprueba que si la situación actual supone un factor 100 de utilización del agua (**Figura 8**), el escenario Tendencial supondría un valor de 127, es decir 27 puntos más que el actual, el escenario Mad Max supondría un valor 153 y el escenario Technograden supondría un valor 94. Esto último significa que sobrarían recursos hídricos para otros usos, como pueden ser los ambientales. Es evidente que los escenarios Tendencial y Mad Max no son sostenibles, a pesar de un posible aumento en la reutilización, ahorro y otras mejoras tecnológicas.

Figura 8. Visualización de los tres escenarios, cada uno con las variables de de superficie artificial y de regadío, consumos de agua asociados y la sostenibilidad respecto a este factor (fuera del índice 100 sería insostenible) en los tres escenarios.



Fuente: elaboración propia

4. DISCUSIÓN

Con los efectos del cambio climático y las previsiones demográficas del INE es previsible que se produzcan impactos perjudiciales sobre el ciclo hidrológico por el aumento de las tasas de evapotranspiración y la aparición de importantes desequilibrios territoriales (MMA, 1998). Estos crearían una serie de incertidumbres y conflictos sobre la mayor parte de los sectores económicos y sobre la estabilidad de los ecosistemas, con los consecuentes efectos irreversibles sobre la biodiversidad. Dependiendo de la gestión forestal que se realice en los próximos años, los ecosistemas forestales pueden estar más o menos afectados por el cambio climático, pero es posible que los cambios en la PPNP y en la distribución de las masas forestales tendrán importantes consecuencias en la regulación del ciclo hidrológico.

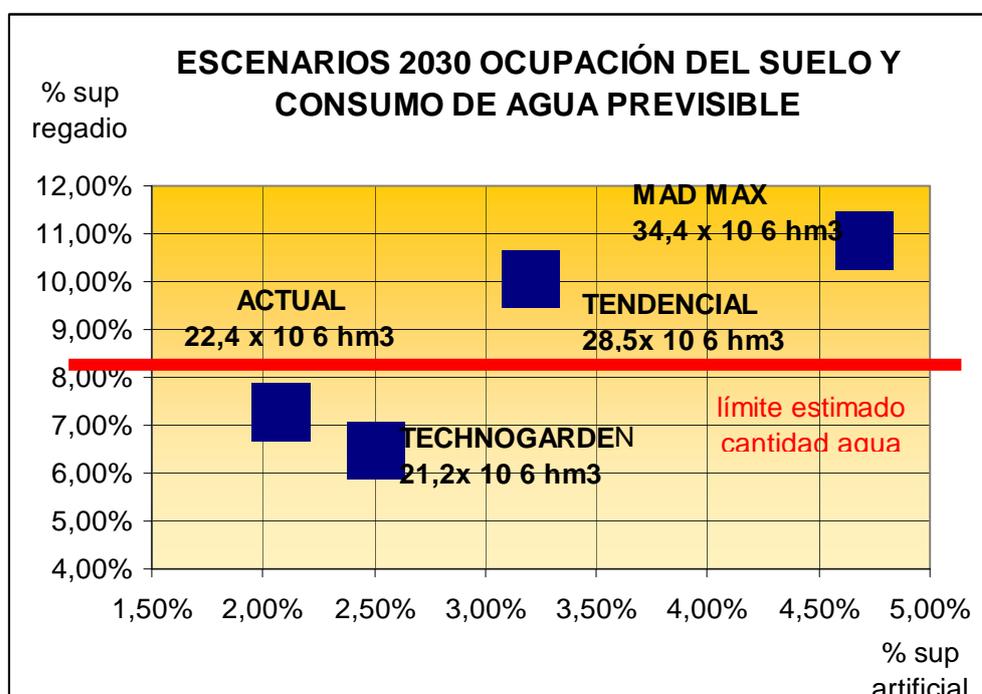
La mejora y aparición de nuevas tecnologías para el año 2030 en relación con el ciclo del agua, y el aumento de la concienciación social respecto a este recurso no han sido consideradas explícitamente, pero es previsible que se produzca. En el caso de continuar con las tendencias actuales (escenario Tendencial) o acelerarlas (Mad Max), se observarían los siguientes impactos sobre las dimensiones del desarrollo:

- Económicos: conflictos por el uso del agua de distintos sectores económicos, sobre todo regadíos y uso urbano.
- Sociales: conflictos por el uso del agua entre distintos territorios y distintos grupos sociales.
- Ambientales: falta de garantía de recurso, mayor presión sobre los recursos hídricos originaría un declive irreversible de zonas húmedas y ecosistemas asociados al agua, disminución de especies asociadas, etc.

Sin embargo en el escenario más sostenible (Technogarden) se podría llegar a un uso sostenible del agua, basado en una estabilización o ligero incremento de la superficie artificial, en una disminución de las zonas de regadío, especialmente de las situadas

sobre zonas áridas y de las menos rentables. La aplicación de las nuevas tecnologías, métodos no convencionales y la gestión de la demanda liberarían recursos hídricos que son imprescindibles para la mejora de la calidad ecológica de las masas de agua. Los efectos sobre el ciclo hidrológico de esta contención de la demanda tendrían efectos positivos sobre los ecosistemas (aumento de los caudales ecológicos, zonas de ribera, humedales, etc.). Esto permitiría conservar la gran diversidad de ecosistemas acuáticos existentes en España y un aumento de la posibilidad del uso social del recurso (demanda urbana y uso recreativo). Los objetivos de la Directiva Marco del Agua coinciden básicamente con la predicción de este escenario. (Ver **Figura 9**).

Figura 9. Relación entre los cambios de ocupación del suelo y consumo de agua. La línea roja marca la disponibilidad de agua actual.



Fuente: elaboración propia

En cualquier escenario, los usos urbano, industrial, agrícola y ganadero continuarán siendo las fuerzas motrices en las tendencias de las relaciones entre la ocupación del suelo y el ciclo hidrológico. El crecimiento de la población y la evolución de la economía, desagregada por sectores, serán claves en la evolución y localización geográfica de la demanda y los vertidos.

En cualquier caso siguen existiendo importantes incertidumbres respecto al ritmo y magnitud de los efectos del cambio climático en España. En el caso de zonas artificiales dependen del incremento de la población y grado de acceso a viviendas vacías, influencia de otros sectores económicos respecto a la agricultura. Para prevenir los impactos negativos sobre el ciclo hidrológico será fundamental el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías, pero también limitar la dinámica de expansión de demanda del recurso.



5. CONCLUSIONES

El diseño y evaluación de escenarios se revela como una herramienta eficaz. Informa a los responsables de la toma de decisiones sobre las opciones elegidas, a pesar de que existan incertidumbres asociadas a su aplicación. Sin duda alguna, este ensayo no pretende ser una simulación exhaustiva de los diferentes escenarios aquí analizados, ya que para que los modelos predictivos conformen una herramienta útil deben representar de manera eficaz la magnitud de los cambios, la localización espacial y los patrones espaciales de los mismos (Brown et al., 2000). Sin embargo presenta un marco de referencia de extraordinaria utilidad para el debate de las principales tendencias de cambio en el futuro.

Se establecen tres variables de contorno para poder diseñar los escenarios futuros: los efectos previsibles del cambio climático, la previsible mejora en la utilización de las tecnologías que permitirán una mayor cantidad y calidad de recursos hídricos disponibles y una mayor exigencia social sobre la calidad del recurso.

De los escenarios considerados, el denominado como Technogarden se revela como el más sostenible. Implica necesariamente una adecuada gestión de la demanda, una estabilización o disminución de las zonas regadas en las zonas más áridas y una estabilización o crecimiento de las superficies artificiales en relación a la población, sobre todo en las zonas más áridas, como el litoral mediterráneo. El desafío del agua no es de escasez del recurso (tan solo el 10% es para demanda urbana), sino de gestión.

Los otros dos escenarios, el Tendencial y el Mad Max, son inviables e insostenibles. Si se dieran esas tendencias, se pueden anticipar graves conflictos en el uso del agua entre demandas urbanas y agrícolas. A pesar de un mayor ahorro y de un incremento de la eficiencia, los escenarios Tendencial y Mad Max no son alternativas viables desde el punto de vista del desarrollo sostenible.

Es necesario iniciar un proceso de planificación, vigilancia y regulación conjunto entre agua y suelo, especialmente en algunas zonas de España. Se debe basar en la planificación adecuada de la ocupación del suelo, en la gestión de la demanda y el ahorro de agua, y con el eje fundamental apoyado en la calidad del recurso para los distintos usos, en la asignación de recursos a usos ambientales y la sistemática restauración de los ecosistemas asociados al agua como las riberas, humedales, etc. con el objeto de aproximarse al escenario óptimo. Las consultas con las partes interesadas suscitarán un interesante debate y aportarán información y análisis de gran valor. Se trata de tomar la decisión más sostenible al respecto y adaptarse paulatinamente a las exigencias recogidas en la Directiva Marco del Agua.

Se deben desarrollar investigaciones sobre las relaciones entre el equilibrio hidrológico del país, el incremento de los regadíos, la pérdida de otros cultivos, la expansión urbana en zonas áridas (especialmente en la costa), o la puesta en marcha de las nuevas desaladoras. Para minimizar estos impactos sobre el ciclo hidrológico y sobre la funcionalidad de los ecosistemas, es preciso el enfoque preventivo en cada uno de los cambios de ocupación del suelo. Este tema es especialmente importante en un país con un 80% de superficie mediterránea, en el que coinciden los periodos de máximas temperaturas con los de mínima precipitación y en un escenario futuro de cambio climático que implica mayor temperatura e irregularidad de precipitaciones.



Agradecimientos

Al equipo OSE que trabajó en la elaboración del informe ocupación del suelo en España, en especial a Noelia Guaita e Isidro López. Javier Montalvo y Josefina Maestu leyeron el original, aportaron ideas y datos de prospectiva de sus modelos relativos a demandas futuras para el año 2030. Lucía Landa realizó decisivas contribuciones y sugerencias al original. Miguel Ángel Zavala y Pilar Álvarez Uría aportaron las estimaciones de la Producción Primaria Neta Potencial y de los efectos del cambio climático. Ramón Vallejo aportó ideas y correcciones que mejoraron sustancialmente el original.



Referencias

- Aema.2001. Scenarios as a tool for environmental policy. Copenhagen
- Aema.2001. Corine land cover 2000 (CLC2000) vector by country
- Allan, J.D., Flecker, A.S., 1993. Biodiversity conservation in running waters. *BioScience*, 43: 32-43.
- Baron, J.S., Poff, N.L., Angermeier, P.L., Dahm, C.N., Gleick, P.H., Hairston, N.G., Jackson, Berbel, J. 2007. Análisis de la Demanda de lisis de la Demanda de Agua en la Agricultura. Universidad de Córdoba..
- Benito Garzón, M., Sánchez de Dios, R., Sainz Ollero H., 2007. Effects of climate change on the distributions of Iberian forests. *Applied Vegetation Science* 30(1), 120-134
- Berbel, J, Gutiérrez, M, López, J. 2005 Herramientas para el análisis de escenarios de política en el regadío del Valle del Guadalquivir. *Revista española de estudios agrosociales y pesqueros*, ISSN 1575-1198, Nº 205, 2005, pags. 65-98
- Brown, D.G., Goovaerts, P., Burnicki, A., Li, M.Y. 2002. Stochastic simulation of land-cover change using geostatistics and generalized additive models. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(10), 1051-1061.
- Constanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V. , Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, 253-260.
- Cosgrove y Rijsberman, 2001. The making of the World water vision exercise. In Rijsberman, F. Ed. *World Water Scenarios: analysis Earthscan*, Londres.
- Henríquez, C. y Azocar, G. 2000. Cambio de uso del suelo y escorrentía superficial: aplicación de un modelo de simulación espacial en Los Ángeles, VIII Región del Biobío, Chile. *Rev. Geogr. Norte Gd.*, 36, 61-74.
- Instituto Geográfico Nnacional (IGN), 2000. Informe Técnico I&CLC 2000. Área de Teledetección, Subdirección General de Geomática y Teledetección, Instituto Geológico Nacional. 15 pp.
- Johnston, C.A., Richter, B.D., Steinman, A.D. 2002. Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications*, 12(5), 1247-1260.
- Margalef, R. 1997. *Our Biosphere*. Ecology Institute, Oldendorf.
- MMA, 1998. Libro Blanco del Agua en España: Documento de Síntesis. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 43 pp. Disponible en:
http://www.mma.es/secciones/acm/fondo_docu_descargas/libro_blanco/pdf/sintesis.pdf
- MMA, 2005. Resultados del IMPRESS cualitativo en las masas de agua superficiales. Dirección General del Agua, Subdirección General de Gestión del Dominio Público Hidráulico, Ministerio de Medio Ambiente. 12 pp.
http://www.mma.es/secciones/acm/aguas_continent_zonas_soc/aguas_superficiales/informes/pdf/Informe_Impres_con_mapas.pdf
- MMA, 2006. Política del agua: balance. Documento para la Conferencia de Presidentes. Ministerio de Medio Ambiente. Disponible en:
http://www.mma.es/portal/secciones/novedades_web/pdf/politica_de_agua_balance_28_12.pdf



- Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 155 pp.
- OCDE, 2008. Prospectiva Medioambiental de la OCDE para el 2030. Resumen en Español. Ed. Mundiprensa.
- Oficina Española de Cambio Climático, 2005. Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Secretaría General de la Contaminación y del Cambio Climático. Madrid. 42 pp.
- Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE), 2006. Cambios en la ocupación del suelo en España. Implicaciones para la sostenibilidad. Ministerio de Fomento, Madrid. 485 pp.
- Pearce, D. 1993. Blueprint. Measuring Sustainable Development, Earthscan, Nueva York.
- Reynolds, J.F., 2001. Desertification. In: Levis, S.A. (ed.) Encyclopedia of Diversity. Academic Press, San Diego, USA. 2, 61-78.
- Reynolds, J.F., Maeste, F.T., Huber-Sannwald, E., Herrich, J., Kemp, P.R. 2005. Aspectos socioeconómicos y biofísicos de la desertificación. Ecosistemas 14 (3), 3-21.
- Ruiz Benito, P., Zavala, M.A., 2007. Impacto del cambio climático sobre la productividad y distribución potencial de los bosques. Sostenibilidad en España 2007. Observatorio de la Sostenibilidad en España, Mundiprensa, Madrid. 227-230 pp.
- Vlachos, E. Y EVAN (ASI CITADO EN TEXTO) 2003 Water conflict and cooperation the transition to a purposeful future . Colorado State University, US. 5p.
- Vörösmarty, C.J. y Sahagian, D., 2000. Anthropogenic disturbance of terrestrial water cycle. BioScience 50 (9), 953-765.
- Wear, D.N., Turner, M.G., Naiman, R.T., 1998. Land cover along urban-rural gradient: implications for water quality. Ecological Applications, 8(3), 619-630.
- Weng, Q. 2001. Modelling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS. Environmental Management, 28, 737-748.
- Zhao, B, Kreuter, U., Li Bo, Ma ZhiJun, Chen JiaKuan, Nakagoshi, N., 2004. A ecosystem service value assessment of land use change on Chongming Island China. Land use Policy 21, 139-148.