

# LA HUELLA HÍDRICA TOTAL DE UNA CUENCA: EL CASO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA.

**Francisco Pellicer Martínez, Ángel Perni y José Miguel Martínez Paz**

*Instituto Universitario del Agua y del Medio Ambiente (Universidad de Murcia)*

## Resumen

El regulador español ha establecido que se debe realizar un análisis de la Huella Hídrica de los distintos sectores socioeconómicos en la caracterización económica de los usos del agua de las demarcaciones hidrográficas en los planes de cuenca. La Huella Hídrica es un indicador que permite estandarizar la producción económica en una unidad común, el volumen de agua. Sin embargo, aún hoy no existe ninguna metodología estándar de aceptación general, y los escasos casos prácticos que existen adolecen de graves simplificaciones y suelen omitir la contabilidad de la huella hídrica gris. Este trabajo solventa estas carencias utilizando una nueva metodología basada en la combinación de un modelo hidrológico (SIMPA) y un sistema soporte a la decisión (OPTIGES). Esta metodología ha sido aplicada para la Demarcación Hidrográfica del Segura proporcionando un valor de Huella Hídrica Total interna de 5.907 hm<sup>3</sup>/año para esta demarcación (54% verde, 21% azul y 25% gris).

**Palabras clave:** planificación hidrológica, huella hídrica, sistemas soporte a la decisión, sostenibilidad ambiental.

## 1. Introducción

Actualmente los países de la Unión Europea se encuentran en un proceso común de planificación hidrológica en el que todos comparten las directrices que emanan de la Directiva Marco del Agua, cuyo objetivo es lograr un uso sostenible del agua a través de una planificación integrada de las demarcaciones hidrográficas que permita conseguir el buen estado ecológico de las aguas superficiales, subterráneas, de transición y costeras. Dicha planificación debe estar basada, entre otras cuestiones, en un análisis económico de los usos del agua. En este sentido, el regulador español, a través de Orden ARM/2656/2008 por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica (BOE, 2008), establece que se debe realizar un análisis de la Huella Hídrica de los distintos sectores socioeconómicos. La Huella Hídrica es un indicador que estandariza la producción económica en una unidad común: el volumen de recursos hídricos consumidos. En función del origen del recurso la Huella Hídrica se diferencia en tres colores: verde (evapotranspiración del agua de lluvia en los cultivos), azul (extracciones o derivaciones de agua de su medio natural) y gris (debida a la contaminación del agua). Todavía no existe una única metodología estandarizada de aceptación general para calcular este indicador a nivel de cuenca y hasta el momento sólo se han llevado a cabo algunas aproximaciones parciales, las cuales no están exentas de limitaciones. Hasta el momento se vienen estimando huellas hídricas puntuales en el tiempo (Aldaya et al., 2010) que, por ejemplo, no contemplan que en periodos de sequía prolongados el gestor se vea obligado a restringir suministros y repartir déficits. Además, muchos trabajos soslayan el cálculo de la huella hídrica gris debido, generalmente, a la falta de información (Zeng et al., 2012).

El objetivo de este trabajo es proponer una nueva metodología para calcular y evaluar la sostenibilidad de la Huella Hídrica Total interna (verde, azul y gris) de una Demarcación Hidrográfica. Así, para resolver las limitaciones expuestas, la contabilidad de la Huella Hídrica se ha apoyado en la simulación del ciclo hidrológico antropizado de la demarcación mediante el uso combinado de un modelo hidrológico (SIMPA) y un sistema soporte a la decisión en planificación hidrológica (OPTIGES). Esta metodología se ha aplicado al caso de

la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS), en la cual hasta ahora no se han llevado a cabo estudios sobre la Huella Hídrica Total de las actividades económicas desarrolladas en su territorio ni tampoco sobre la sostenibilidad ambiental, desde esta nueva perspectiva, de los usos del agua.

## **2. Metodología**

La metodología propuesta en este trabajo para la contabilidad y evaluación de la sostenibilidad de la Huella Hídrica Total interna de una demarcación hidrográfica consta de tres etapas (Figura 1). La primera consiste en la simulación del ciclo hidrológico antropizado de la demarcación. Para ello se combina un Modelo Hidrológico (SIMPA), que determina la disponibilidad de recursos hídricos, y un Sistema Soporte a la Decisión (OPTIGES), que permite simular el sistema de explotación de recursos hídricos de una cuenca. A partir de los resultados de ambas modelizaciones y adaptando la metodología de Hoekstra et al. (2011), en la segunda etapa se realiza la contabilidad de la Huella Hídrica en cada una de sus componentes y, en la tercera etapa, se evalúa la sostenibilidad ambiental de las mismas.

### **2.1. Etapa 1: Modelización del Ciclo Hidrológico Antropizado**

#### **2.1.1. Modelo Hidrológico: SIMPA.**

El modelo hidrológico SIMPA (Sistema Integrado para la Modelación del proceso Precipitación Aportación) es el modelo de referencia del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España para la evaluación de los recursos hídricos de una cuenca (Estrela y Quintas, 1996). Este modelo trabaja con series mensuales de precipitación ( $P$ ) y evapotranspiración potencial ( $ETP$ ) en forma de mapas ráster. La  $ETP$  se calcula teniendo en cuenta los usos del suelo de la base de datos *Corine Land Cover* (CLC). Este modelo proporciona la evapotranspiración real ( $ETR$ ) y los recursos hídricos naturales ( $Q$ ) de una cuenca.

#### **2.1.2. Sistema Soporte a la Decisión: OPTIGES**

El Sistema Soporte a la Decisión OPTIGES permite simular el sistema de explotación de recursos hídricos de una cuenca. Éste distribuye los recursos hídricos de una demarcación hidrográfica entre las demandas existentes a partir de la optimización lineal de la red de flujo que representa dicho sistema de explotación (Andreu et al., 1996). Esta red de flujo se crea combinando y caracterizando elementos hidrológicos básicos tales como tramos fluviales, embalses, acuíferos, canales, demandas, retornos, requerimientos ambientales, aportaciones artificiales (trasvases, depuradoras o desaladoras), entre otros. En este trabajo, los recursos hídricos naturales ( $Q$ ) obtenidos del modelo SIMPA son empleados como datos de entrada en OPTIGES, del cual se obtienen series de suministros a las demandas, de evaporación en los embalses, de volumen trasvasado, de retornos de las demandas y de caudales circulados por tramos fluviales, entre otros.

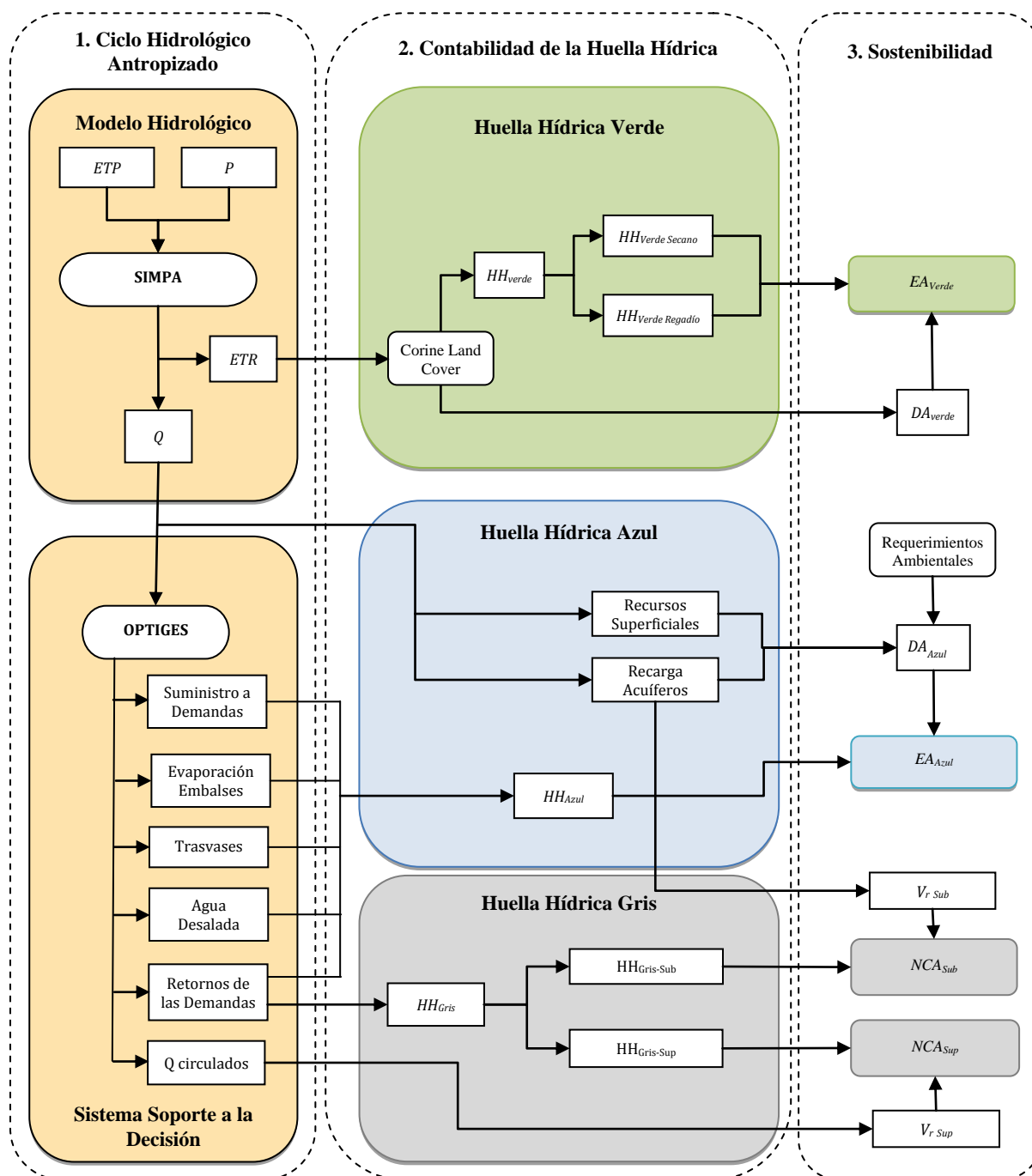
### **2.2. Etapa 2: Contabilidad de la Huella Hídrica**

#### **2.2.1. Cálculo de la Huella Hídrica verde**

La Huella Hídrica Verde ( $HH_{verde}$ ) se corresponde con la  $ETR$  de los cultivos de una demarcación hidrográfica. Ésta se obtiene de los mapas ráster de  $ETR$  que proporciona el

modelo SIMPA. Para identificar que parte de dicha evapotranspiración se debe a actividades productivas (cultivos), se agregan los usos del suelo relacionados con la agricultura en regadío y secano a partir de la clasificación CLC. La intersección de este mapa vectorial agregado con los de  $ETR$  determina el valor de la  $HH_{Verde}$  para cada polígono de uso agrícola de una demarcación hidrográfica, ya sea de regadío ( $HH_{Verde\ Regadío}$ ) o de secano ( $HH_{Verde\ Secano}$ ).

Figura 2.2.1.1. Marco Metodológico.



Fuente: Elaboración propia

### 2.2.2. Cálculo de la Huella Hídrica Azul

La Huella Hídrica Azul ( $HH_{Azul}$ ) se determina a partir de la siguiente expresión:

$$HH_{Azul} = V_{Sum} + E_{Emb} \pm V_{Tra} - V_{Des} - V_{Reu}$$

Donde  $V_{Sum}$  es el volumen suministrado a las demandas,  $E_{Emb}$  es la evaporación en los embalses,  $V_{Tra}$  es el volumen trasvasado,  $V_{Des}$  es el volumen de agua desalada y  $V_{Reu}$  volumen reutilizado calculado a partir de los retornos totales. Estas variables son proporcionadas por OPTIGES.

En la contabilidad de la  $HH_{Azul}$ , tanto el suministro a las demandas como la evaporación en los embalses suponen un consumo de los recursos hídricos generado por la actividad económica. En cambio, el agua desalada y la reutilización tienden a disminuir las extracciones de agua del medio natural, lo que se interpreta como un descenso de la  $HH_{Azul}$ . El signo del agua del trasvase depende de si la cuenca analizada es cedente o receptora de recursos. Si la cuenca es receptora se produce un aumento de agua azul disponible para ser utilizada en actividades productivas dentro de la demarcación, evitando la extracción de recursos propios. Por tanto, el volumen trasvasado supone un descenso de la huella hídrica de la demarcación. En caso de ser cedente, el volumen trasvasado se debe sumar a la  $HH_{Azul}$  de la demarcación.

### 2.2.3. Cálculo de la Huella Hídrica Gris

La Huella Hídrica Gris ( $HH_{Gris}$ ) generada por un vertido  $j$  es calculada a partir de la siguiente expresión (Hoekstra et al., 2011):

$$HH_{Gris} = \text{Max} \left[ \frac{efl_j \times (c_{efl,i} - c_{nat,i})}{c_{max,i} - c_{nat,i}} \right]$$

Donde  $efl_j$  es el volumen del efluente  $j$  vertido sobre el dominio público hidráulico,  $c_{efl,i}$  es la concentración del contaminante  $i$  que contiene  $efl_j$ ,  $c_{max,i}$  es la concentración máxima permitida de  $i$  en el medio receptor, y  $c_{nat,i}$  es la concentración natural de  $i$  en el medio receptor. Esta formulación tiene en cuenta que los vertidos contienen más de un contaminante, aunque no considera relación estequiométrica entre los mismos. Así, asume que el máximo volumen de los obtenidos para los contaminantes  $i$  será suficiente para diluir el resto.

Además, OPTIGES proporciona los valores  $efl_j$ , y permite diferenciar entre contaminación puntual y difusa. Los vertidos puntuales se corresponden con los efluentes de depuradoras y los retornos de regadíos tradicionales, mientras que la contaminación difusa se debe a la infiltración-percolación del resto de retornos de riego hacia las aguas subterráneas. Esta distinción hace posible identificar si la  $HH_{Gris}$  es superficial ( $HH_{Gris-Sup}$ ) o subterránea ( $HH_{Gris-Sub}$ ).

## 2.3. Etapa 3: Sostenibilidad de la Huella hídrica

### 2.3.1. Sostenibilidad de la huella hídrica verde

La sostenibilidad ambiental de la  $HH_{Verde}$  se determina relacionando la  $HH_{Verde}$  con el agua verde total disponible ( $DA_{verde}$ ), que es la evapotranspiración real susceptible de ser productiva. Esta relación se conoce como escasez de agua verde ( $EA_{verde}$ ) y mide el grado de

apropiación que la agricultura hace sobre el agua verde de una demarcación (Hoekstra et al., 2011). La  $DA_{verde}$  se calcula con la siguiente expresión:

$$DA_{verde} = ET_T - ET_{EN} - ET_I$$

Donde,  $ET_T$  es toda la evapotranspiración real que se ha producido en la demarcación,  $ET_{EN}$  es la evapotranspiración real que se produce en espacios protegidos o de interés y,  $ET_I$  es la evapotranspiración que tiene lugar en zonas no protegidas donde no es posible el cultivo.

El indicador de sostenibilidad  $EA_{verde}$  se obtiene de la siguiente manera:

$$EA_{verde} = \frac{HH_{verde}}{DA_{verde}}$$

Si  $EA_{verde} > 1$ , el uso del agua verde no es sostenible dado que no se satisfacen las necesidades de espacios naturales. En cambio, si  $EA_{verde} < 1$ , la disponibilidad de agua verde es suficiente para satisfacer las demandas de los cultivos.

### 2.3.2. Sostenibilidad de la Huella Hídrica Azul

La sostenibilidad de la  $HH_{Azul}$  se determina comparando ésta con la disponibilidad de agua azul de la demarcación ( $DA_{Azul}$ ) (Hokstra et al., 2011). Esta relación se denomina escasez de agua azul de la demarcación ( $EA_{Azul}$ ). La  $DA_{Azul}$  se calcula con la siguiente fórmula:

$$DA_{Azul} = Q - R_{Amb}$$

Donde  $Q$  son los recursos hídricos superficiales más los recursos hídricos subterráneos renovables (recarga natural) de la demarcación y,  $R_{Amb}$  son los requerimientos ambientales (la suma de los caudales ecológicos fluviales y de las demandas ambientales de humedales).

El indicador de sostenibilidad  $EA_{Azul}$  se obtiene de la siguiente manera:

$$EA_{Azul} = \frac{HH_{Azul}}{DA_{Azul}}$$

Si  $EA_{Azul} > 1$ , el uso del agua azul es no sostenible dado que los recursos hídricos naturales no son suficientes para satisfacer las demandas. Si  $EA_{Azul} < 1$ , la gestión del agua azul es sostenible.

### 2.3.3. Sostenibilidad de la Huella Hídrica Gris

En el estudio de la sostenibilidad de  $HH_{Gris}$  se compara el valor de esta huella con el caudal que circula por la masa de agua receptora ( $V_r$ ). Esta relación se denomina nivel de contaminación del agua (NCA) y representa la fracción de la capacidad de asimilación ya consumida por la masa de agua receptora del vertido (Hokestra et al., 2011).

$$NCA = \frac{HH_{Gris}}{V_r}$$

Si  $NCA < 1$ , la masa de agua aún posee capacidad de dilución de vertidos y, por tanto, el nivel de vertido realizado se puede considerar sostenible.

En este análisis, se debe diferenciar entre aguas superficiales ( $NCA_{Sup}$ ) y subterráneas ( $NCA_{Sub}$ ), dado que el cálculo y las concentraciones máximas permitidas por la normativa son diferentes. La  $HH_{Gris}$  superficial ( $HH_{Gris-Sup}$ ) en un cauce fluvial es toda la generada aguas arriba de la salida del propio tramo, y se compara con el caudal circulado por el tramo ( $V_{r Sup}$ ). Para la  $HH_{Gris}$  subterránea ( $HH_{Gris-Sub}$ ), se analiza la  $HH_{Gris}$  generada por la contaminación difusa que recibe un acuífero y se compara con la recarga natural del mismo ( $V_{r Sub}$ ).

### 3. Caso de Estudio: la Demarcación Hidrográfica del Segura.

La Demarcación Hidrográfica del Segura, una de las demarcaciones hidrográficas más complejas de Europa, se encuentra en el sureste de la Península Ibérica (Figura 3.1) y tiene una superficie aproximada de 20.000 km<sup>2</sup>. Presenta graves problemas en relación al estado de sus recursos hídricos superficiales y subterráneos, tanto en términos de calidad como de cantidad (Grindlay et al., 2011).

**Figura 3.1.** Localización de la DHS.



Fuente: Elaboración propia

Una de las razones que explica esta situación es el clima semiárido de la demarcación, ya que ha favorecido el desarrollo de dos actividades económicas que requieren grandes volúmenes de agua: la agricultura (1.552 hm<sup>3</sup>/año) y el turismo (48 hm<sup>3</sup>/año). A estos volúmenes se le suma la demanda de abastecimiento (182 hm<sup>3</sup>/año) y la industrial (69 hm<sup>3</sup>/año), alcanzando una demanda total de 1.851 hm<sup>3</sup>/año. Sin embargo, los recursos hídricos naturales estimados son 1.010 hm<sup>3</sup>/año (750 hm<sup>3</sup> superficiales y 260 hm<sup>3</sup> subterráneos renovables), volumen claramente insuficiente para satisfacer las demandas si además se descuentan los requerimientos ambientales, estimados en 19 hm<sup>3</sup>/año. Este déficit se compensa con otros recursos como son el trasvase del Tajo (337 hm<sup>3</sup>/año), la reutilización (120 hm<sup>3</sup>/año), la desalación (81 hm<sup>3</sup>/año) y la sobreexplotación de acuíferos (aprox. 300 hm<sup>3</sup>/año). Aun así, no siempre es posible garantizar todo el suministro y existen déficits en las demandas, principalmente en las agrarias (CHS, 2013).

La red de flujo de la DHS se ha modelizado con OPTIGES a partir de la última versión del esquema realizado por la Confederación Hidrográfica del Segura (CHS, 2007) e introduciendo todas las modificaciones contempladas en el Borrador del Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 2013). Con el fin de caracterizar los usos actuales y futuros de los recursos hídricos, la instrucción de planificación hidrológica (BOE, 2008) recomienda el análisis de tres escenarios, estado actual, corto plazo (2015) y largo plazo (2027). El estado actual se ha realizado para el año 2012 en vez de para el 2009, debido al retraso en la

realización del plan de cuenca del Segura. La Tabla 3.1 contiene los datos de entrada a OPTIGES de forma agregada para cada uno de los tres escenarios que serán estudiados en este trabajo. Así, dicha información permitirá conocer la  $HH_{Verde}$  y la  $HH_{Azul}$ , en cada una de sus componentes, de la Demarcación Hidrográfica del Segura.

**Tabla 3.1. Datos en  $hm^3/año$  de los escenarios introducidos en OPTIGES (CHS, 2013). (1) Existen en todos los tramos fluviales excepto en la desembocadura que se considera nulo. (2) Capacidad máxima de desalación no volumen desalado. (3) En el escenario 2027 se considera un descenso del 11% de los recursos naturales previsto en la Instrucción de Planificación Española debido al cambio climático (BOE, 2008). (4) Recursos hídricos del modelo SIMPA.**

		Escenarios del proceso de planificación		
		2012	2015	2027
Requerimientos Ambientales	Q ecológico <sup>(1)</sup>	0 – 84	0 – 84	0 – 84
	D ambiental	19	19	19
Demandas	Abastecimiento/Turismo	230	245	275
	Regadío	1.552	1.530	1.533
	Industrial	69	53	65
Recursos Hídricos	Superficiales/ Subterráneos <sup>(4)</sup>	1.010	1.010	921 <sup>(3)</sup>
	Desalación <sup>(2)</sup>	81	129	334
	Trasvase	337	337	300

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.2. Concentraciones utilizadas en el cálculo de la huella hídrica gris. (1) La concentración de nitratos depende del porcentaje que retorna de la demanda. Cuanto mayor sea el porcentaje más diluido está el contaminante. Para retornos < 5% la concentración es de 173 mg/l, entre 5% y 10% la concentración es de 67 mg/l y si el retorno es mayor del 10% entonces la concentración de nitratos es de 23 mg/l. (2) El porcentaje de eliminación de contaminantes que alcanza la depuración actual es el 97%.**

	Contaminante	Masas Subterráneas	Masas Superficiales
$C_{efl,i}$	DBO <sub>5</sub>	-	17 mg/l <sup>(2)</sup>
	Nitratos	173-67-28 mg/l <sup>(1)</sup>	3 mg/l <sup>(2)</sup>
$C_{nat,i}$	DBO <sub>5</sub>	-	3 mg/l
	Nitratos	3 mg/l	2 mg/l
$C_{max,i}$	DBO <sub>5</sub>	-	< 6 mg/l
	Nitratos	< 50 mg/l	< 25 mg/l

Fuente: Elaboración propia

En relación a la contabilidad de la  $HH_{Gris-Sup}$ , ésta se ha realizado considerando sus dos principales contaminantes, la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y los nitratos. Para la  $HH_{Gris-Sub}$  sólo se ha tenido en cuenta la contaminación por nitratos. La Tabla 3.2 contiene los datos utilizados para estimar la  $HH_{Gris}$ . Las concentraciones máximas permitidas en estos tipos de masas de agua,  $c_{max,i}$ , están establecidas en la instrucción de planificación hidrológica (BOE, 2008); las concentraciones de los vertidos puntuales,  $c_{efl,i}$ , se han obtenido de las mediciones de calidad que realizan las empresa gestoras de las depuradoras; para la contaminación difusa, se ha asumido que la calidad de los retornos son similares a las mediciones realizadas por Dechmi et al. (2013) en retornos de regadío del Ebro; finalmente, para las concentraciones naturales,  $c_{nat,i}$ , se han tomado como referencia las mediciones realizadas por la CHS en masas de agua superficiales y subterráneas consideradas como

inalteradas. Asimismo, el grado de eliminación de los contaminantes de los vertidos es del 97% para los tres escenarios.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Huella Hídrica de la situación actual (2012)

La Tabla 4.1.1 contiene los valores mínimo, medio y máximo de  $HH_{Verde}$  (secano y regadío) de la serie temporal obtenida de la modelización de la demarcación. Los resultados muestran un amplio rango de variación dada la climatología semiárida de la demarcación. Esto revela la gran influencia que tiene el año elegido para su cálculo, ya que la huella hídrica verde en un año puede ser casi el triple que en otro. Además, para este caso, la  $HH_{Verde}$  producida por los cultivos de secano ha resultado casi el doble que la generada por los regadíos.

**Tabla 4.1.1. Valores de huella hídrica verde para secano y regadío.**

	Mínimo	Media	Máximo
HH Verde Secano	1.211	2.037	3.018
HH Verde Regadío	744	1.214	2.037

Fuente: Elaboración propia

En el cálculo de la  $HH_{Azul}$ , el balance realizado para su cálculo arroja un valor medio anual de  $1.245 \text{ hm}^3$  que varía sustancialmente menos que la  $HH_{Verde}$ , entre  $1.382$  y  $917 \text{ hm}^3$  al año. El valor de esta huella hídrica depende directamente de los suministros a las demandas y en años con restricciones de agua es cuando se producen los valores mínimos. Al ser el valor medio superior a los recursos naturales (Tabla 3.1), se estima que se está produciendo una sobreexplotación de los acuíferos de  $254 \text{ hm}^3$  al año en media.

Aplicando los valores de la Tabla 3.2 a los retornos de las demandas, se obtiene una  $HH_{Gris}$  de  $1.433 \text{ hm}^3/\text{año}$ , repartida entre  $1.293 \text{ hm}^3/\text{año}$  como huella hídrica gris superficial y  $140 \text{ hm}^3/\text{año}$  como subterránea. El rango de variación de esta huella hídrica es el más bajo, entre  $1.452$  y  $1.284 \text{ hm}^3/\text{año}$ , ya que depende básicamente de los retornos urbanos cuyo suministro es el más estable. Este resultado indica que la  $HH_{Gris}$  debida al abastecimiento y a la industria es mucho superior a la agrícola, a pesar del peso de este sector en la demarcación.

Sumando los tres valores medios obtenidos se alcanza una Huella Hídrica Total de la DHS para el escenario actual (2012) de  $5.907 \text{ hm}^3/\text{año}$  de media, que fluctúa entre  $4.153$  y  $7.829 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Hasta el momento, la única aproximación realizada es la de la Fundación Mapfre (2011) para el año 2005, la cual sólo considera la huella hídrica azul y verde, obteniendo un valor de  $2.587 \text{ hm}^3/\text{año}$ . En este trabajo, sin considerar  $HH_{Gris}$ , se obtiene una cifra superior de  $3.971 \text{ hm}^3/\text{año}$  para el mismo año.

### 4.2. Análisis de la evolución de la huella hídrica

Estos mismos cálculos se repiten para el escenario a corto (2015) y a largo plazo (2027), obteniendo así los valores agregados que se muestran en la Tabla 4.2.1. Los resultados muestran que la Huella Hídrica Total interna tiende a mantenerse prácticamente constante pese a disminuir las extracciones de agua debido a un aumento en la reutilización y desalación. El responsable de que las medidas llevadas a cabo (reducción del regadío, aumento de la reutilización y desalación) no reflejen una disminución de la Huella Hídrica



Total de la DHS es el incremento de la  $HH_{Gris-Sup}$  debido al aumento del abastecimiento urbano futuro.

**Tabla 4.2.1. Valores de la huella hídrica para los tres escenarios ( $hm^3/año$ ).**

	Escenarios del proceso de planificación		
	2012	2015	2027
$HH_{Verde\ Secano}$	2.017		
$HH_{Verde\ Regadío}$	1.214		
<b><math>HH_{Verde}</math></b>	3.231		
<b><math>HH_{Azul}</math></b>	1.243	1.182	1.143
$HH_{Gris\ Subterránea}$	140	143	144
$HH_{Gris\ Superficial}$	1.293	1.295	1.446
<b><math>HH_{Gris}</math></b>	1.433	1.438	1.590
<b><math>HH_{Total}</math></b>	5.907	5.851	5.964

Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Sostenibilidad de la huella hídrica en la Demarcación Hidrográfica del Segura.

La Tabla 4.3.1 contiene los indicadores de sostenibilidad de las huellas hídricas estimadas en este trabajo. Con el objetivo de mostrar mejor la tendencia temporal, se ha calculado el valor promedio para todo el periodo (1940-2010) y para cada uno de los tres escenarios.

**Tabla 4.3.1. Indicadores de la sostenibilidad ambiental de la gestión. Fuente: Elaboración propia.**

Indicadores de Sostenibilidad	2012	2015	2027
$EA_{Verde}$	0,77		
$EA_{Azul}$	1,22	1,13	1,18
$NCA_{Sub}$	4,33	3,10	3,11
$NCA_{Sup}$	9,73	5,66	6,22

Fuente: Elaboración propia

Los indicadores de la Tabla 4.3.1 muestran que el único uso sostenible que se realiza en la DHS es el del agua verde, ya que el valor de  $EA_{Verde}$  es el único menor que uno. El uso del agua azul es insostenible en los tres escenarios, si bien se reduce el valor de la huella hídrica azul para los escenarios 2015 y 2027. Este uso insostenible se verá reflejado en la sobreexplotación de los acuíferos. Por otra parte, el valor obtenido para la huella hídrica gris en la demarcación es tal que hace insostenible la gestión de los vertidos en la DHS en los tres escenarios a pesar del alto grado de depuración del 97% alcanzado. Esto se debe a los escasos caudales que circulan por la red fluvial de la cuenca, que frecuentemente llegan a ser nulos en la desembocadura, que son insuficientes para diluir la contaminación vertida.

## 5. Conclusiones

La metodología propuesta ha servido para calcular la Huella Hídrica Total interna de la Demarcación Hidrográfica del Segura y se han solventado algunas de las limitaciones existentes en la literatura. La Huella Hídrica total media obtenida es de  $5.907\text{ hm}^3$  al año, con un mínimo de  $4.153\text{ hm}^3/año$  y un valor máximo de  $7.829\text{ hm}^3/año$ . La distribución de esta

huella hídrica es: 54% verde, 21% azul y 25% gris. El cálculo de la huella hídrica gris, realizado por primera vez a nivel de cuenca, ha puesto de manifiesto el gran peso relativo que tiene esta componente de la huella sobre el total, en torno al 25% del total en una demarcación con un nivel de depuración muy alto del 97%. Por esta razón, pensamos que para que este indicador sea válido para la toma de decisiones, no se puede despreciar este tipo de huella hídrica en la contabilidad a nivel de demarcación hidrográfica, aún más en aquellas con graves problemas de depuración de retornos urbanos.

La utilización de la huella hídrica como indicador de sostenibilidad ambiental indica que el único uso sostenible que se hace en la demarcación es el del agua verde. El uso del agua azul no es sostenible, lo que se traduce en una sobreexplotación de acuíferos. Por último, la gestión de los vertidos presenta un nivel de insostenibilidad muy elevado, debido principalmente por la escasez de caudales ecológicos más que por el volumen vertido sobre el dominio público.

## **6. Referencias**

Aldaya, M.M. Martínez-Santos, P. y M.R. Llamas (2010): "Incorporating the Water Footprint and Virtual Water into Policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain", *Water Resources Management*, vol. 24, nº. 5, 941-958.

Andreu, J., Capilla, J. y E. Sanchis (1996): "AQUATOOL, a generalized decision-support system for water-resources planning and operational management", *Journal of Hydrology*, vol. 177, nº 3-4, 269-291.

BOE (2008): Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, nº 71, 12820-12821.

CHS (2007): "Plan de Actuación en Situaciones de Alerta y Eventual Sequía en la Cuenca del Segura. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente". Confederación Hidrográfica del Segura.

CHS (2013): "Borrador del Plan Hidrológico de Cuenca". Ministerio de Medio Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Segura.

Dechmi, F., Claverís-Laborda, I., Balcells-Oliván, M. y D. Isidoro-Ramírez (2013): "La calidad de los retornos de riego en Riegos del Alto Aragón (Huesca, España)", XXXI Congreso Nacional de Riegos, Orihuela, Alicante, 18 a 20 de Junio de 2013. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10532/2311>.

Estrela, T. y L. Quintas (1996): "A distributed hydrological model for water resources assessment in large basins", *Rivertech '96 - 1st International Conference on New/Emerging Concepts for Rivers, Proceedings, Vols 1 and 2: Celebrating the Twenty-Fifth Anniversary of Iwra*: 861-868.

Fundación Mapfre. (2011): "Huella hídrica, desarrollo y sostenibilidad en España", Fundación Mapfre.

Grindlay, A.L., Zamorano, M., Rodríguez, M.I., Molero, E. y M.A. Urrea (2011): "Implementation of the European Water Framework Directive: Integration of hydrological and regional planning at the Segura River Basin, southeast Spain", *Land Use Policy*, vol. 28, nº 1, 242-256.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. y M.M. Mekonnen (2011): “The water footprint assessment manual: Setting the global standard”, Earthscan, London, UK.

Zeng, Z., Liu, J., Koeneman, P.H., Zarate, E. y A.Y. Hoekstra (2012): “Assessing water footprint at river basin level: a case study for the Heihe River Basin in northwest China”, Hydrology and Earth System Sciences, vol. 16, nº. 8, 2771-2781.