

# La Huella Hídrica en España

## The Water Footprint in Spain

Revista de Obras Públicas  
nº 3.514. Año 157  
Octubre 2010  
ISSN: 0034-8619  
ISSN electrónico: 1695-4408

**Fernando Esteban Moratilla.** Dr. Ingeniero de Caminos Canales y Puertos.

Dirección General del Agua. MAMR. festeban@mma.es

**Miriam Molina Moreno.** Ingeniera de Montes.

Grupo Tragsa. mmomo@tragsa.es

**Mario Fernández Barrena.** Licenciado en Ciencias Ambientales.

Grupo Tragsa. mfb@tragsa.es

**Resumen:** La determinación y el seguimiento del indicador de la Huella Hídrica permiten estimar la variación de las necesidades integradas de agua en España en relación a las demandas para uso y consumo de la población.

El estudio de las características concretas de la producción en los distintos territorios ofrece la oportunidad de valorar la intensidad y dependencia del factor agua en sus modelos productivos.

El trabajo realizado ha permitido determinar la variación del indicador de la Huella Hídrica tanto globalmente para toda España como de forma particular para cada una de las Comunidades Autónomas, en los años 1996, 2001 y 2005. Así mismo, se han establecido criterios de relación entre la especialización productiva y las necesidades directas y virtuales de agua, así como con la renta generada.

**Palabras Clave:** Huella Hídrica; Agua Virtual; Tablas *Input-Output*; Economía del agua; Comercio del agua

**Abstract:** The calculation and monitoring of the water footprint make it possible to estimate the variation in the integral water requirements in Spain with respect to demand for use and consumption.

From the study of the specific characteristics of production in the different regions it is then possible to assess the intensity and dependence of the water factor in production models.

The research has established the variation in the total water footprint for Spain as well as that of the Autonomous Communities in 1996, 2001 and 2005. Several relationships have also been established between productive specialization and direct and virtual water requirements, as well as with generated income.

**Keywords:** Water Footprint; Virtual water; Input-Output tables; Water economy; Water trade

### Introducción

La determinación del valor económico del agua es un problema extensamente estudiado a través de modelos hidrológicos y económicos. En un contexto de globalización en el que las políticas ambientales internacionales intentan alcanzar un desarrollo sostenible, cobra cada vez más interés la creación de un indicador global de consumo de agua que proporcione información útil a nivel internacional.

La Huella Hídrica de un país, definida como el volumen de agua utilizada directa e indirectamente para la elaboración de productos y servicios consumidos por los habitantes de ese país (Hoekstra y Hung, 2002), se está afianzando como un buen indicador del uso y consumo de agua.

Previamente había surgido el concepto de Agua Virtual, introducido por Allan (1998) cuando estudiaba la posibilidad de importar Agua Virtual (en contraposición al agua real) como parte de la solución a los problemas de escasez de agua en Oriente Medio. El Agua Virtual se define como el volumen de agua necesaria para elaborar un producto o facilitar un servicio.

En el estudio de la Huella Hídrica de España, al que este artículo se refiere, se ha tomado en consideración el agua virtual de todos los sectores productivos. Asimismo, y debido a su importancia en la cuantificación, se han estudiado los flujos de agua virtual que salen y entran del país a consecuencia de las relaciones comerciales con el exterior.

Para evaluar los cambios de intensidad del uso y consumo de agua se ha cuantificado la Huella Hídri-

ca para los años 1996, 2001 y 2005, lo que ha permitido comprobar la variación de los hábitos de consumo asociados a la evolución y al desarrollo social de este periodo.

Igualmente, se ha diseñado un Modelo de Simulación en base a los datos del año 2001 que permite calcular la Huella Hídrica tanto a nivel Autonómico como a nivel Nacional, así como la estimación del Agua Directa asociada a cada uno de los sectores económicos.

### Objetivos

Los objetivos de este estudio se resumen en los siguientes:

- Estimar la Huella Hídrica de España en su conjunto y de sus diferentes Comunidades Autónomas (CC.AA.); cálculo del volumen de agua necesaria para la elaboración de los productos y servicios consumidos por los habitantes de cada una de las áreas de estudio.
- Diseño de un modelo de simulación que permita analizar la Huella Hídrica y sus componentes para comprender la relación entre el desarrollo territorial y el consumo de agua de los diferentes sectores de la economía española, así como realizar distintos análisis y prospectivas de escenarios posibles.

### Conceptos y formulación general

Se define como **Agua Directa (AD)** o *consumo directo de agua* la cantidad de agua requerida únicamente en el proceso productivo, es decir, el agua que tradicionalmente se contabiliza. No obstante, la obtención de un producto, por lo general, implica la entrada de varias materias primas, productos intermedios y una serie de servicios en las distintas etapas del proceso productivo. En la producción de estas entradas intermedias también se ha consumido agua. El agua asociada a las entradas intermedias se denomina el **Agua Indirecta (AI)** o *consumo indirecto de agua*, que junto con el *consumo directo de agua* constituye el agua total empleada en el producto final, lo que se conoce como **Agua Virtual (AV)**.

Cabe especificar que en el cálculo del Agua Virtual de una determinada región, estado o territorio de

referencia, se han considerado los valores de Agua Virtual correspondientes a los productos consumidos en ella, tanto si éstos se han producido dentro del territorio considerado, como si se trata de productos cuyo origen se ubica fuera de éstos. Por lo tanto, el concepto de Agua Virtual utilizado para el cálculo de la Huella Hídrica corresponde al Agua Virtual de consumo interior de la región, estado o territorio de referencia. Este valor puede expresarse como se indica a continuación (ver Ecuación 1).

$$AV_{\text{CON INTERIOR}} = AD_{\text{CON INTERIOR}} + AI_{\text{CON INTERIOR}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde,

$AV_{\text{CON INTERIOR}}$ , es el Agua Virtual de consumo interior.  
 $AD_{\text{CON INTERIOR}}$ , es el Agua Directa de consumo interior.

$AI_{\text{CON INTERIOR}}$ , es el Agua Indirecta de consumo interior.

El cálculo del Agua Virtual de consumo interior de una región se ha estimado a partir del Agua Virtual asociada a la producción de dicha región, el Agua Virtual procedente de los productos que importa y el Agua Virtual de los productos que exporta, que son productos que aunque se han generado en la región son consumidos fuera de ella, por lo que este agua se ha de restar a los otros dos tipos de agua citados.

Así pues, la **Huella Hídrica Total** ( $HH_{\text{TOTAL}}$ ) de un país se define como el volumen de agua necesaria para la producción de los bienes y servicios consumidos por los habitantes de dicho país, como se puede ver en la Ecuación 2:

$$HH_{\text{TOTAL}} = AV_{\text{PROD}} + AV_{\text{IMPORT}} - AV_{\text{EXPORT}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde,

$AV_{\text{PROD}}$ , es el Agua Virtual correspondiente a la producción de bienes de la región o territorio de referencia.

$AV_{\text{IMPORT}}$ , es el Agua Virtual correspondiente a la producción de bienes importados a la región o territorio de referencia.

$AV_{\text{EXPORT}}$ , es el Agua Virtual correspondiente a la producción de bienes exportados de la región o territorio de referencia.

Finalmente, se considera el indicador Huella Hídrica, comparable entre territorios, a la expresión de

agua consumida internamente en una región en relación a sus habitantes (ver Ecuación 3):

$$HH = \frac{HH_{TOTAL}}{N^{\circ} \text{ habitantes}} \quad (\text{Ec. 3})$$

En resumen, y con el fin de estimar la Huella Hídrica de una determinada región, es necesario conocer primero el Agua Directa de los sectores que conforman su economía, después el Agua Virtual asociada a cada sector y, finalmente, realizar un balance entre el Agua Virtual asociada a los productos importados y exportados.

La **Huella Hídrica interna** de una región se define como el volumen de agua anual utilizado de los Recursos Hídricos regionales para producir los bienes y servicios que dicha región consume.

La **Huella Hídrica externa** de una región se define como el volumen anual de Recursos Hídricos utilizados en otras regiones para producir bienes y servicios consumidos por los habitantes de dicha región. Se puede conocer su valor como el volumen total de Agua Virtual importada de otras regiones menos el volumen total de Agua Virtual exportada a otras regiones.

Tanto el **Agua Directa** como el **Agua Virtual** pueden ser clasificadas en tres tipos de agua:

- **Agua azul:** procedente del agua de los ríos, pantanos, lagos y acuíferos.
- **Agua verde:** agua que proviene de las precipitaciones, queda retenida en el suelo y permite la existencia de la vegetación natural.
- **Agua gris:** es el volumen de agua teórica que diluiría los contaminantes generados como consecuencia de los procesos productivos hasta concentraciones inferiores a su concentración máxima admisible según la legislación vigente más restrictiva. Es una forma de indicar, en unidades volumétricas de agua, el nivel de contaminantes que generan las actividades humanas pero, en ningún caso, se trata de un agua real que es necesario u obligatorio añadir para mejorar la calidad de las aguas.

Una **Tabla Input-Output (TIO)** es una matriz que muestra las interrelaciones entre los sectores económicos de una determinada región referida a un periodo de tiempo, generalmente un año. En ella se muestran, en unidades monetarias, las transacciones intersectoriales

que se realizan entre todos los agentes económicos de una economía regional en un periodo de tiempo. Es una forma de estructurar la contabilidad regional que permite realizar análisis económicos que, además, incluye información sectorial sobre consumo, demanda, importaciones y exportaciones, producción, etc.

En el presente trabajo, se define **Modelo Input-Output** como la serie de cálculos matriciales que se realizan a partir de los datos de entrada –una TIO y los datos de agua requeridos– para estimar la Huella Hídrica de la región que represente la TIO utilizada.

El **Modelo General** se define como el modelo que integra tanto el Modelo *Input-Output* como el resto de cálculos necesarios para estimar completamente la Huella Hídrica de una determinada región. Estos cálculos se refieren a los datos de entrada de agua necesarios en el Modelo *Input-Output*. Por tanto, el Modelo General es el proceso de cálculo que engloba y conecta todas las metodologías que intervienen en la estimación de la Huella Hídrica.

El **Modelo de Simulación** en el presente trabajo se refiere al conjunto de procesos que permiten estudiar diferentes hipótesis y, en base a ellas, estimar la nueva Huella Hídrica. En realidad se corresponde con el Modelo General habilitado para estudiar las modificaciones en el indicador de la Huella Hídrica cuando se modifican determinadas variables del modelo.

### Cálculo del Agua Directa

El procedimiento seguido para calcular la Huella Hídrica de España se inicia mediante la estimación del Agua Directa de cada uno de los sectores productivos. El volumen de Agua Directa asociada a un sector es el agua requerida por el mismo para llevar a cabo todos los procesos que tienen como fin la elaboración de los correspondientes productos finales.

Por lo tanto, se ha estimado este valor de forma independiente para los sectores: “Agricultura”, “Ganadería”, “Selvicultura”, “Industria y servicios” (varios sectores integrados), “Consumo humano” y “Turismo” diferenciando entre los distintos tipos de agua según su procedencia.

El cómputo total del Agua Directa de un determinado sector se ha estimado considerando únicamente el Agua verde y el Agua azul; excluyendo el volumen de Agua gris del cálculo total debido, principal-

mente, al hecho de que el Agua gris es un tipo de agua con un marcado carácter teórico, que introduce una gran cantidad de agua en el modelo y que al integrarla en el cómputo total produce una distorsión significativa en los resultados. Aun así, se ha considerado muy interesante incluir los datos referentes al volumen de Agua gris, ya que permite calcular el valor per capita de Agua Virtual gris de Consumo Interior, que se concibe como un indicador de contaminación.

Este indicador, adicional al de la Huella Hídrica Total (Huella Hídrica verde más Huella Hídrica azul), permite analizar la evolución de la contaminación en el tiempo, asociado al consumo de los habitantes de la región estudiada. Para cada uno de estos sectores se ha utilizado una metodología específica en la estimación de su Agua Directa.

### Agricultura

El Agua Directa del sector agrícola,  $AD_{Agricultura}$  es el volumen de agua utilizada para elaborar los productos agrícolas que se generan en España, considerando tanto los productos que se consumen dentro de nuestras fronteras como los productos destinados a consumirse en otros países (productos que se exportan). La estimación de este volumen de agua se realiza en función del agua asociada a cada cultivo y su producción (Ecuación 4), para los distintos municipios españoles.

$$AD_{Agricultura} = \sum_{i=1}^n (AD_{verde\ i} * Prod_i) + (AD_{azul\ i} * Prod_i) \quad (Ec.4)$$

Donde,

$Prod_i$ : Producción del cultivo  $i$  (t/año).

$AD_{verde\ i}$ : Agua Directa verde del cultivo  $i$  ( $m^3/t$ ).

$AD_{azul\ i}$ : Agua Directa azul del cultivo  $i$  ( $m^3/t$ ).

### Ganadería

El Agua Directa del sector ganadero,  $AD_{Ganadería}$  es el volumen de agua consumida por las existencias ganaderas, constituida exclusivamente por Agua azul. Su estimación se realiza en función de las dotaciones, y del número de cabezas de los seis tipos de ganado existentes, según se indica en la Ecuación 5. Como se puede observar, la siguiente expresión refleja el Agua Directa.

$$AD_{Ganadería} = \sum_{i=1}^{n=6} AD_{azul\ i} * NC_i \quad (Ec.5)$$

Donde,

$NC_i$ : Número de cabezas para el tipo de ganado  $i$ .

$AD_{azul\ i}$ : Agua azul para el tipo de ganado  $i$ , dotación ( $m^3/cabeza$ ).

### Selvicultura

El Agua Directa empleada en la producción maderera del sector "Selvicultura" está compuesta en su totalidad por Agua Directa verde, al asumirse que las distintas especies forestales mantienen su producción en base al agua que proviene de las precipitaciones.

El cálculo del volumen de agua empleado en abastecer las necesidades anuales de las distintas especies,  $ET_{verde}$ , se ha realizado a nivel municipal siguiendo un procedimiento análogo al empleado en el sector agrícola (ver Ecuación 6).

$$ET_{verde} = \min(NHF, PP_{ef}) \quad (Ec. 6)$$

Donde,

$NHF$ : necesidades hídricas de la especie (mm/mes), en este caso igual a la evapotranspiración de referencia ( $ET_o$ ).

$PP_{ef}$ : precipitación efectiva (mm).

### Industria y Servicios

Las fuentes de información disponibles a nivel nacional sobre consumos y captaciones son las Cuentas Satélite del Agua (INE), que de momento sólo proporcionan valores globales para España, y la "Encuesta sobre el uso del agua en el sector industrial" de 1999 (INE), que muestra los datos desglosados por CC.AA. y los sectores industriales C.N.A.E. 93. Por tanto, al no existir otras fuentes de información disponibles, la estimación del Agua Directa del sector "Industria y servicios" se ha realizado a nivel autonómico.

Como hipótesis de trabajo se ha considerado que el agua consumida es directamente proporcional al Valor Añadido Bruto (VAB) del sector. A favor de esta aproximación está el bajo consumo de agua asociado a la industria y la capacidad para reflejar el crecimiento y el decrecimiento de cada sector.

Para cuantificar el valor del Agua Directa consumida por los sectores industriales se han utilizado los siguientes datos:

- Volumen total de agua captada por la empresa (referido a captaciones propias).
- Volumen total de agua suministrada a través de una red pública.

Finalmente, se muestra como resultado de Agua Directa la suma de ambos datos.

El siguiente paso ha sido el cálculo del Agua Directa empleada por los sectores de servicios que completan el sistema productivo español. Para ellos la única fuente de información disponible ha sido las Cuentas Satélite. Para proceder a la estimación del Agua azul a nivel autonómico se ha utilizado el VAB sectorial de cada Comunidad Autónoma repartiendo el agua total proporcionalmente al valor del VAB autonómico. Este cálculo se muestra en la Ecuación 7:

$$AD_{IndustriaCCAA,i} = \frac{AD_{Industria\ España,i} * VAB_{CCAA,i}}{VAB_{España,i}} \quad (Ec. 7)$$

Donde, i representa cada sector.

### Consumo humano

El procedimiento utilizado para la estimación del consumo de agua de forma directa consiste en emplear los datos del Padrón municipal y los coeficientes de consumo medio por habitante y día, tal y como se indica en la Ecuación 8.

$$AD_{ConsumoHum\ año} = \frac{Cc_{habitante} * N^{\circ}habitantes * 365}{1000} \quad (Ec.8)$$

Donde,

$Cc_{habitante}$ : Coeficientes de consumo de agua (l/habitante y día).

$N^{\circ}$  Habitantes: Número de habitantes.

### Turismo

La estimación del volumen de agua utilizado para abastecer las necesidades hídricas del sector "Turismo" se ha realizado de forma muy similar a la definida para el "Consumo humano", sólo que en este caso el

volumen de Agua azul demandada por el sector "Turismo" se ha calculado en función del número de pernoctaciones en hoteles, hostales, alojamientos rurales y campings, empleando los datos de las "Encuestas de ocupación hotelera", "Encuestas de ocupación en alojamientos de turismo rural" y "Encuestas de ocupación en acampamentos turísticos" (INE). La estimación del Agua Directa del sector "Turismo" es inmediata (Ecuación 9).

$$AD_{Turismo} = \sum_{i=1}^{n=8} Cc_{alojamiento\ i} * Pern_i \quad (Ec.9)$$

Donde,

$Cc_{alojamiento}$ : coeficiente de consumo de agua para el tipo de alojamiento  $i$  (l/pernoctación).

$Pern_i$ : pernoctaciones del tipo de alojamiento  $i$ .

### Cálculo del Agua Indirecta

El Agua Indirecta es aquella que se encuentra asociada a las entradas intermedias del proceso productivo, *consumo indirecto de agua*, que junto con el *consumo directo de agua* constituye el agua total empleada en el producto final, lo que se conoce como Agua Virtual. De esta manera y una vez estimada el Agua Directa, tanto azul como verde o gris, de los distintos sectores en los que se ha subdividido la economía española, se le debe asociar la cantidad de Agua Indirecta que le corresponde.

### Transacciones intersectoriales

Para realizar el cálculo del Agua Indirecta se han de tener en cuenta la venta de los productos (materias primas) entre sectores que son necesarias para obtener los productos finales que se ofrecen a los consumidores. Así, finalmente, cada sector ofrecerá sus productos elaborados con el Agua Directa utilizada y con las materias primas (con su Agua Indirecta asociada) que han incorporado a su producción, dando como resultado el Agua Virtual asociada a sus productos.

Con el fin de llevar a cabo este proceso se ha utilizado la metodología *Input-Output*, que permite estimar esas transacciones intersectoriales, las exportaciones e importaciones de cada sector y la demanda final de productos. Analizar estas transacciones de productos o materias primas entre sectores productivo

a producto resultaría una tarea casi imposible por la gran diversidad de éstos, y podría dar lugar a un error importante de contabilidad por la omisión de datos, dadas las escasas fuentes de información al respecto. Por ello se trabaja con la metodología *Input-Output* ya que estas tablas contabilizan todas estas transacciones intersectoriales de productos y servicios en unidades monetarias.

Las Tablas *Input-Output* (TIO) necesarias para desarrollar esta metodología sólo existen como tales a nivel de Comunidad Autónoma y a nivel nacional. Así pues, el Agua Indirecta se estima solamente a nivel de las CC.AA. españolas y a nivel integral de España, lo que implica que la mayor precisión a la hora de determinar el indicador de la Huella Hídrica se tiene en estos ámbitos territoriales.

Para estimar el Agua Indirecta de una región se ha subdividido la economía en sectores, paso previo que se ha realizado para dividir el consumo de la población entre distintos tipos de agrupaciones de productos.

Cabe destacar que el sector primario se ha subdividido en cuatro sectores dada su importancia, al ser tres de estos sectores los responsables de introducir la mayor parte del agua dentro del sistema productivo (excepto Pesca). La siguiente particularidad es la división de la Industria de la Alimentación en dos sectores, uno cuyas materias primas generalmente proceden de la ganadería y otro en el que proceden de la agricultura. La razón de esta división es que van a ser dos de los sectores que más Agua Indirecta reciban, considerándose importante su diferenciación. La realización de estas subdivisiones permite distinguir el paso de las materias primas con más agua asociada desde el sector primario, a través del sistema productivo, hasta su consumo final.

Para la determinación del Agua Indirecta de los productos ha sido necesario en primer lugar homogeneizar los sectores de las TIO de las CC.AA. (agregación y desagregación de sectores según los casos), homogeneizar los datos a la misma fecha (homogeneización temporal) y estimar las TIO para aquellas CC.AA. que no disponían de ellas (en base a las de regiones con estructuras económicas y tamaño similares, ajustadas en función de su PIB).

Una vez obtenida una estructura e información comparable, se ha construido la transformación de los datos económicos en datos volumétricos de agua. Para realizar esta operación, sin duda la más novedo-

sa, se han planteado varios procedimientos, la mayoría de los cuales desestimados por falta de información y datos para su correcta aplicación. Éste es el caso de los análisis del agua en el ciclo de vida del producto (LCA) (Rebitzer *et al.* 2004), o el caso del uso de las matrices de Uso (*use matrix*) y Absorción (*make matrix*), que permiten desagregar la producción de los bienes de las diferentes industrias (Miller y Blair, 1985).

La metodología adoptada finalmente se basa en el procedimiento establecido por Ip *et al.* (2007) para modelar los flujos de aguas interindustriales. Estos modelos permiten asimilar el flujo físico de productos en términos económicos, directamente o a través de coeficientes correctores, al flujo de agua entre los diferentes sectores. El modelo permite determinar el volumen total del Agua Virtual utilizada en cada sector a partir del Agua Directa utilizada por todos los sectores con los que se relaciona y con los que mantiene relaciones comerciales.

El primer paso del Modelo *Input-Output* para conocer el Agua Indirecta es determinar el coeficiente de uso directo de agua de una actividad económica, de acuerdo con la Ecuación 10.

$$f_i = \frac{AD_i}{X_i} \quad (Ec.10)$$

Donde,

$f_i$ : es el uso directo de agua del sector  $i$ .

$AD_i$ : es el consumo total de agua en la producción del sector  $i$ , es decir, el Agua Directa de cada sector evaluada anteriormente.

$X_i$ : es la cantidad total de los productos producidos en unidades monetarias.

En esta ecuación, el uso de agua está basado en el valor monetario  $X_j$  del producto; si bien podría también basarse en la cantidad de producción para ajustar a cambios en los precios.

Considerando que un sector económico por lo general requiere entradas intermedias en su proceso de producción, se introduce un coeficiente de uso total de agua por unidad (Ecuación 11).

$$f_i^\dagger = f_i + \sum_{k=1}^n f_k^\dagger * \alpha_{ki} \quad (Ec.11)$$

Donde,

$f_i^\dagger$ : es el uso total de agua por unidad del sector  $i$  o el Agua Virtual referido en unidades monetarias.

$a_{ki}$ : es la parte relativa del producto del sector  $k$  usada para la producción del sector  $i$  y se calcula como se puede observar en la siguiente ecuación.

$$a_{ki} = \frac{u_{ki}}{\sum_{k=1}^n u_{ki}} \quad (Ec. 12)$$

Donde,

$u_{ki}$ : es la entrada de producto de sector  $k$  por el sector  $i$ .

El primer término de la Ecuación 11 representa el consumo directo de agua partido por la producción y está fácilmente disponible ya que se refiere al Agua Directa estimada. El segundo término, que determina el contenido de agua de las entradas intermedias, o el consumo indirecto de agua del sector  $i$ , es por lo general desconocido.

Considerando el contenido de agua como una entrada, la Ecuación 11 se puede redefinir evaluando la interdependencia entre el consumo de agua de varios sectores económicos de la siguiente manera (Ecuación 13):

$$F^t = F + F^t * A \rightarrow F^t = (I - A)^{-1} * F \quad (Ec. 13)$$

Donde,

$F^t$ : es el vector de uso total de agua.

$F$ : es el vector de uso directo de agua, es decir, el vector que incluye las veinticinco Aguas Directas calculadas para cada sector.

$A$ : es la matriz de coeficientes técnicos. Se calcula a partir de la TIO como el ratio de entrada a salida  $z_{ij}/X_j$ , o  $a_{ij}$  y se asume que no varía. Representa la función de producción de la industria  $j$  (Miller y Blair, 1985), dividiendo cada transacción intersectorial del sector  $j$  por la cantidad total de los productos generados.

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \quad (Ec. 14)$$

$A = \{a_{ij}\}$ : es llamada matriz de coeficientes técnicos.

$(I-A)^{-1}$ : es la inversa de Leontief y se halla como la inversa de la matriz identidad menos la matriz de coeficientes técnicos.

Con esta formulación *Input-Output* se puede determinar el uso total de agua (Agua Virtual) y en con-

secuencia *el Agua Indirecta*, a partir del consumo directo de agua, vector  $F$ , que como se ha visto anteriormente se ha obtenido a partir de las Cuentas Satélites del Agua y de la encuesta del uso del agua en la producción industrial.

La aplicación de coeficientes correctores se ha aplicado en el trabajo en algunas transferencias intersectoriales del sector "Agricultura" que son las más importantes por su peso en la Huella Hídrica. Aun así, esta metodología queda abierta para avances en este sentido ya que permite modificar todas las transacciones según se disponga de una contabilidad del agua más avanzada.

### Cálculo del agua procedente del comercio exterior

La estimación del volumen de agua asociado a las importaciones y exportaciones de los distintos sectores económicos se ha realizado mediante el Modelo *Input-Output*. Las tablas *Input-Output* contabilizan tanto las importaciones como las exportaciones dentro de su estructura interna. Además las TIO diferencian el comercio por zonas geográficas, distinguiendo entre exportaciones con destino la "Unión Europea" o con destino el "Resto del Mundo" y la misma clasificación para las importaciones; sin embargo no es posible diferenciar el país origen/destino de estas transacciones comerciales. Cuando la TIO se refiere a una CC.AA. además diferencia el destino o procedencia del "Resto de España" para englobar el comercio interregional.

Así pues, siguiendo la metodología *Input-Output* es posible conocer el agua asociada a los productos del comercio de cada región diferenciando por zonas geográficas. Una vez calculado el vector de uso total de agua ( $F^t$ ) se aplica la Ecuación 15 para transformar el valor monetario de las importaciones y las exportaciones en unidades de volumen de Agua Virtual:

$$\begin{aligned} AV_{EXP} &= Y_E * F^t \\ AV_{IMP} &= Y_M * F^t \end{aligned} \quad (Ec. 15)$$

Donde,

$F^t$ : vector de uso total de agua (€/litro).

$AV_{Exp}$ : agua asociada a los productos exportados.

$AV_{Imp}$ : agua asociada a los productos importados.

$Y_E$ : vector de exportaciones de la TIO (€).

$Y_M$ : vector de importaciones de la TIO (€).

Los vectores  $Y_E$  e  $Y_M$  se componen a su vez de tres vectores, según la zona geográfica, con los que es posible conocer más detalladamente el agua que tiene asociada y, por lo tanto, la Huella del comercio o Huella externa.

La información relativa a los productos exportados e importados en el comercio internacional (en unidades de masa), en el caso de la agricultura y la ganadería, se ha obtenido a partir de la base de datos del Arancel Integrado de Aplicación (TARIC) elaborada por el Departamento de Aduanas e Impuestos Especiales de la Agencia Estatal de la Administración Tributaria. Los valores del Agua Virtual ( $m^3/t$ ) asociados a los productos importados de los diferentes países del mundo proceden del Anejo XVI - 1 del Informe: "Water footprint of Nations" (Hoekstra y Chapagain, 2004). Estas dos fuentes de información han permitido estimar los Flujos de Agua Virtual del comercio internacional español de la agricultura y la ganadería.

### Flujos de agua virtual

El Agua Virtual asociada a los productos del comercio, clasificada según los tres orígenes y destinos: Interregional, UE y Resto del Mundo, se obtiene de las TIO general de España y de las CC.AA. El Agua Virtual Externa de España depende exclusivamente del comercio internacional, mientras que el Agua Virtual Externa de cada Comunidad Autónoma depende también de las relaciones comerciales interregionales. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos.

### Cálculo de la Huella Hídrica

En los puntos anteriores se han explicado los procedimientos utilizados para la estimación del Agua Directa y el Agua Indirecta. Así, cada sector ofrecerá sus productos elaborados con el Agua Directa utilizada y el Agua Indirecta asociada a las materias primas que ha incorporado en su proceso productivo, formando finalmente el Agua Virtual asociada a sus productos. Si a esta agua se le resta el agua correspondiente a los productos que se exportan a otras regiones y países, y se le suma lo que se importa para poder satisfacer la demanda de los consumidores de la región, se obtiene la Huella Hídrica de

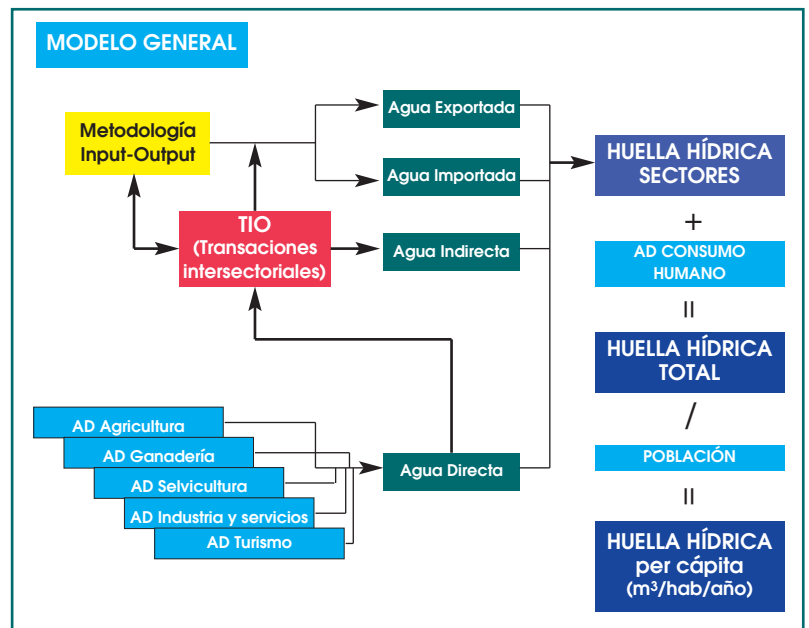


Fig. 1. Esquema resumen del Modelo General. Integración de las metodologías para la estimación de la Huella Hídrica. Fuente: elaboración propia.

una región, como la cantidad de agua que consume en sus condiciones culturales y de desarrollo actuales.

Para calcular la Huella Hídrica se realizan tres procesos, cada uno de ellos con su metodología correspondiente, como se ha comentado anteriormente:

- Cálculo del Agua Directa (procedimiento directo).
- Cálculo del Agua Total Interna o agua necesaria para la producción de bienes y servicios, y del Agua Indirecta (Modelo *Input-Output* en base a TIO).
- Cálculo del Agua procedente del comercio exterior (Modelo *Input-Output* en base a TIO).

La interacción de estos tres Modelos se representa en la Figura 1.

La Figura 1 representa en color azul los cálculos realizados para la estimación del Agua Directa; en amarillo y rojo el Modelo *Input-Output* y las tablas TIO de relaciones intersectoriales. En verde los resultados agrupados por tipo de agua y procedencia. La agregación de los resultados por sectores conduce a la Huella Hídrica por sectores que al sumarle el Agua Directa del consumo humano totaliza la Huella Hídrica global, expresada en  $m^3/año$ . Finalmente, al dividir por el número de habitantes de la región



Tabla 1. Flujos de Agua Virtual por CC.AA. Se diferencia Agua Virtual Importada (Imp) y Agua Virtual Exportada (Exp), así como el Balance entre ambas. La muestra contabiliza el Agua azul y el Agua verde. Año 2001.

| CC.AA.                       | Operación<br>(hm <sup>3</sup> de Agua<br>Virtual) | Comercio<br>TOTAL | Comercio<br>Interregional | Comercio<br>con la UE | Comercio<br>con el RM | Comercio<br>Internacional<br>(UE y RM) |
|------------------------------|---|-------------------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|--|
| España                       | Imp   | 42.252            | 0                         | 14.472                | 27.780                | 42.252                                 |
|                              | Exp   | 22.200            | 0                         | 4.640                 | 17.560                | 22.200                                 |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>20.051</b>     | <b>0</b>                  | <b>9.831</b>          | <b>10.220</b>         | <b>20.051</b>                          |
| Andalucía                    | Imp   | 14.208            | 7.412                     | 3.086                 | 3.710                 | 6.796                                  |
|                              | Exp   | 11.574            | 4.741                     | 1.884                 | 4.949                 | 6.833                                  |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>2.634</b>      | <b>2.671</b>              | <b>1.203</b>          | <b>-1.239</b>         | <b>-37</b>                             |
| Aragón                       | Imp   | 2.159             | 1.332                     | 539                   | 288                   | 827                                    |
|                              | Exp   | 6.389             | 5.374                     | 174                   | 842                   | 1.015                                  |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>-4.230</b>     | <b>-4.042</b>             | <b>365</b>            | <b>-554</b>           | <b>-189</b>                            |
| Asturias (Principado de)     | Imp   | 1.819             | 1.379                     | 151                   | 289                   | 440                                    |
|                              | Exp   | 1.123             | 951                       | 46                    | 126                   | 173                                    |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>696</b>        | <b>429</b>                | <b>105</b>            | <b>162</b>            | <b>267</b>                             |
| Islas Baleares               | Imp   | 1.347             | 1.173                     | 132                   | 42                    | 174                                    |
|                              | Exp   | 127               | 100                       | 3                     | 25                    | 27                                     |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>1.220</b>      | <b>1.073</b>              | <b>129</b>            | <b>18</b>             | <b>147</b>                             |
| Canarias                     | Imp   | 2.585             | 1.540                     | 392                   | 653                   | 1.045                                  |
|                              | Exp   | 175               | 72                        | 10                    | 93                    | 103                                    |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>2.410</b>      | <b>1.468</b>              | <b>383</b>            | <b>560</b>            | <b>942</b>                             |
| Castilla - La Mancha         | Imp   | 3.074             | 2.252                     | 623                   | 199                   | 822                                    |
|                              | Exp   | 5.835             | 5.195                     | 119                   | 520                   | 639                                    |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>-2.761</b>     | <b>-2.943</b>             | <b>504</b>            | <b>-321</b>           | <b>182</b>                             |
| Castilla y León              | Imp   | 3.636             | 2.667                     | 728                   | 241                   | 969                                    |
|                              | Exp   | 8.759             | 7.178                     | 144                   | 1.437                 | 1.581                                  |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>-5.123</b>     | <b>-4.511</b>             | <b>584</b>            | <b>-1.197</b>         | <b>-613</b>                            |
| Cataluña                     | Imp   | 14.553            | 2.266                     | 3.325                 | 8.962                 | 12.287                                 |
|                              | Exp   | 4.685             | 1.574                     | 635                   | 2.476                 | 3.112                                  |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>9.868</b>      | <b>693</b>                | <b>2.690</b>          | <b>6.485</b>          | <b>9.175</b>                           |
| Comunidad Valenciana         | Imp   | 9.075             | 6.039                     | 744                   | 2.292                 | 3.036                                  |
|                              | Exp   | 4.824             | 1.202                     | 744                   | 2.878                 | 3.622                                  |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>4.251</b>      | <b>4.837</b>              | <b>0</b>              | <b>-586</b>           | <b>-586</b>                            |
| Extremadura                  | Imp   | 1.716             | 1.183                     | 475                   | 58                    | 533                                    |
|                              | Exp   | 6.564             | 5.902                     | 86                    | 575                   | 661                                    |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>-4.847</b>     | <b>-4.719</b>             | <b>389</b>            | <b>-518</b>           | <b>-128</b>                            |
| Galicia                      | Imp   | 4.835             | 1.321                     | 563                   | 2.951                 | 3.514                                  |
|                              | Exp   | 3.940             | 2.435                     | 197                   | 1.308                 | 1.504                                  |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>896</b>        | <b>-1.114</b>             | <b>366</b>            | <b>1.643</b>          | <b>2.010</b>                           |
| Madrid (Comunidad de)        | Imp   | 14.162            | 8.533                     | 2.256                 | 3.373                 | 5.629                                  |
|                              | Exp   | 2.821             | 2.326                     | 166                   | 329                   | 495                                    |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>11.341</b>     | <b>6.208</b>              | <b>2.090</b>          | <b>3.044</b>          | <b>5.134</b>                           |
| Murcia (Región de)           | Imp   | 3.258             | 844                       | 335                   | 2.078                 | 2.414                                  |
|                              | Exp   | 2.447             | 991                       | 281                   | 1.174                 | 1.456                                  |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>811</b>        | <b>-147</b>               | <b>54</b>             | <b>904</b>            | <b>958</b>                             |
| Navarra (Comunidad Foral de) | Imp   | 1.704             | 1.326                     | 333                   | 45                    | 377                                    |
|                              | Exp   | 2.189             | 1.658                     | 66                    | 465                   | 531                                    |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>-485</b>       | <b>-331</b>               | <b>267</b>            | <b>-420</b>           | <b>-154</b>                            |
| País Vasco                   | Imp   | 4.133             | 1.237                     | 482                   | 2.415                 | 2.897                                  |
|                              | Exp   | 893               | 685                       | 47                    | 161                   | 209                                    |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>3.240</b>      | <b>552</b>                | <b>435</b>            | <b>2.253</b>          | <b>2.688</b>                           |
| Rioja (La)                   | Imp   | 498               | 339                       | 71                    | 88                    | 159                                    |
|                              | Exp   | 491               | 393                       | 9                     | 89                    | 98                                     |
|                              | <b>Balance</b>                                    | <b>7</b>          | <b>-53</b>                | <b>61</b>             | <b>-1</b>             | <b>61</b>                              |

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2. Componentes de la Huella Hídrica de España por sectores. La muestra contabiliza el Agua azul y el Agua verde. Año 2001.**

| Nº                    | RESULTADOS (hm <sup>3</sup> )                                    | Uso del Agua (AD) | AV transvasada intersectorial          | AV producción*  | AV EXPORT       | AV IMPORT       | Balance neto comercio | HH TOTAL        |
|-----------------------|--|-------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| 1                     | Agricultura  | 38.494,4          | -18.717,6                              | 19.776,8        | 12.566,6        | 27.479,1        | 14.912,5              | 34.689,3        |
| 2                     | Ganadería y caza   | 17.962,4          | -16.443,3                              | 1.519,1         | 529,1           | 712,1           | 183,0                 | 1.702,0         |
| 3                     | Selvicultura y explotación forestal                              | 8.811,0           | -4.810,4                               | 4.000,6         | 934,0           | 2.863,8         | 1.929,8               | 5.930,4         |
| 4                     | Pesca  | 20,2              | 70,5                                   | 90,8            | 12,7            | 43,1            | 30,4                  | 121,2           |
| 5                     | Industrias extractivas   | 134,3             | -105,5                                 | 28,8            | 27,3            | 910,1           | 882,8                 | 911,6           |
| 6                     | Industria de la alimentación cárnica y láctea                    | 56,7              | 12.883,3                               | 12.940,0        | 1.363,5         | 1.810,6         | 447,0                 | 13.387,0        |
| 7                     | Resto Industria de la alimentación, bebidas y tabaco             | 120,4             | 9.095,8                                | 9.216,2         | 3.257,9         | 3.886,0         | 628,1                 | 9.844,3         |
| 8                     | Industria textil, de la confección, del cuero y del calzado      | 122,3             | 726,2                                  | 848,5           | 395,4           | 536,6           | 141,2                 | 989,7           |
| 9                     | Industria de la madera y del corcho                              | 27,1              | 225,6                                  | 252,7           | 217,3           | 430,2           | 212,9                 | 465,6           |
| 10                    | Industria del papel; edición, artes gráficas y reproducción      | 289,0             | 592,7                                  | 881,7           | 545,4           | 761,1           | 215,7                 | 1.097,4         |
| 11                    | Refino de petróleo y tratamiento de combustibles nucleares       | 46,1              | 24,4                                   | 70,5            | 34,1            | 36,0            | 1,8                   | 72,3            |
| 12                    | Industria química  | 504,7             | 60,7                                   | 565,4           | 392,2           | 684,8           | 292,6                 | 857,9           |
| 13                    | Industria del caucho y materias plásticas                        | 199,1             | 25,6                                   | 224,7           | 216,4           | 254,2           | 37,8                  | 262,4           |
| 14                    | Industrias de otros productos minerales no metálicos             | 91,4              | -8,0                                   | 83,4            | 79,6            | 43,5            | -36,1                 | 47,3            |
| 15                    | Metalurgia y fabricación de productos metálicos                  | 208,6             | 40,0                                   | 248,6           | 183,5           | 253,5           | 70,0                  | 318,6           |
| 16                    | Industria de la construcción de maquinaria, electrónico y óptico | 23,7              | 306,2                                  | 329,9           | 228,2           | 471,5           | 243,3                 | 573,2           |
| 17                    | Fabricación de material de transporte                            | 27,3              | 368,6                                  | 396,0           | 312,4           | 321,4           | 9,0                   | 405,0           |
| 18                    | Industrias manufactureras diversas                               | 82,6              | 471,8                                  | 554,4           | 148,0           | 178,8           | 30,8                  | 585,2           |
| 19                    | Captación, depuración y distribución de agua                     | 925,6             | -467,9                                 | 457,8           | 0,0             | 0,0             | 0,0                   | 457,8           |
| 20                    | Producción y distribución de energía y gas                       | 341,6             | -204,8                                 | 136,8           | 3,2             | 3,0             | -0,2                  | 136,7           |
| 21                    | Construcción   | 44,1              | 1.798,0                                | 1.842,2         | 0,2             | 0,4             | 0,2                   | 1.842,4         |
| 22                    | Actividades de tratamiento de aguas residuales y alcantarillado  | 181,0             | -6,3                                   | 174,7           | 0,0             | 0,0             | 0,0                   | 174,7           |
| 23                    | Hoteles (Turismo)  | 61,1              | 441,4                                  | 502,5           | 0,0             | 32,7            | 32,7                  | 535,2           |
| 24                    | Restaurantes   | 561,6             | 7.129,7                                | 7.691,3         | 0,0             | 1,4             | 1,4                   | 7.692,7         |
| 25                    | Otras actividades económicas (Servicios)                         | 854,9             | 6.503,2                                | 7.358,1         | 753,2           | 538,0           | -215,2                | 7.142,9         |
| <b>TOTAL</b>          |  | <b>70.191,2</b>   | <b>0,0</b>                             | <b>70.191,2</b> | <b>22.200,4</b> | <b>42.251,7</b> | <b>20.051,4</b>       | <b>90.242,6</b> |
| <b>Consumo Humano</b> |  | <b>2.425,1</b>    | <b>0,0</b>                             | <b>2.425,1</b>  |                 |                 |                       | <b>2.425,1</b>  |
| <b>AD Total</b>       |  | <b>72.616,3</b>   | <b>(hm<sup>3</sup>/año)</b>            |                 |                 |                 | <b>HH Total</b>       | <b>92.667,7</b> |
| <b>AD per cápita</b>  |  | <b>1.793,0</b>    | <b>(m<sup>3</sup>/habitante y año)</b> |                 |                 |                 | <b>HH per cápita</b>  | <b>2.288,1</b>  |

\* AV producción corresponde al Agua Virtual calculada con la demanda final de las TIO. Se refiere al AV asociada al proceso productivo de un sector, directa e indirecta. El total coincide con el AD total. Fuente: elaboración propia.

estudiada, se obtiene la Huella Hídrica per capita, expresada en m<sup>3</sup>/hab/año.

En definitiva, el Agua Directa de los diferentes sectores es el dato de partida para determinar el Agua Virtual Total en base a la metodología *Input-Output* desarrollada a partir de las TIO de las diecisiete CC.AA. y la nacional, todas ellas homogeneizadas temporalmente y estructuradas en los veinticinco sectores mencionados.

Con el Modelo *Input-Output* se tiene en cuenta las transacciones intersectoriales y las exportaciones e importaciones en base a la información que contiene la TIO, permitiendo introducir hipótesis de variación tanto de las dinámicas del conjunto de la estructura de producción, como de los requerimientos de agua en los procesos productivos.

El Modelo desarrollado ofrece como resultados la Huella Hídrica Total de cada sector, donde quedan recogidos todos los intercambios intersectoriales de productos, y las importaciones y exportaciones de cada sector necesarios para satisfacer la demanda final de la población.

En la Tabla 2 se muestra el caso concreto de la distribución de sectorial de la Huella Hídrica en el año 2001 para el conjunto de España.

La suma de las Huellas de todos los sectores y el Agua Directa de consumo humano permite obtener la Huella Hídrica Total de la región/nación que representa la TIO introducida como dato de partida. El valor obtenido de Huella es un valor anual y general para todo el conjunto de habitantes y actividad productiva de la zona estudiada. Si este resultado es dividido entre la población de la región, se obtiene la Huella Hídrica per cápita referida a un año.

La conexión de las metodologías utilizadas, representadas sucintamente en el esquema general de la Figura 1, permite una interconexión entre todos los cálculos y sus variables, que hace posible que el Modelo de Simulación devuelva una nueva Huella Hídrica cada vez que se modifica alguno de los datos de entradas empleados en el cálculo, sea al nivel que sea, desde municipal hasta nacional.

La Huella Hídrica Total de cada sector (HH<sub>i</sub>) se estima a partir de la Ecuación 16.

$$HH_i = AV_{\text{PRODI}_i} - AV_{\text{EXPORT}_i} + AV_{\text{IMPORT}_i} \quad (\text{Ec } 16)$$

Donde,

AV<sub>PRODI<sub>i</sub></sub> es el Agua Virtual de la producción de bienes del sector *i*.

AV<sub>IMPORT<sub>i</sub></sub> es el Agua Virtual de la producción de bienes importados del sector *i*.

AV<sub>EXPORT<sub>i</sub></sub> es el Agua Virtual de la producción de bienes exportados del sector *i*.

Y la **Huella Hídrica Total** viene determinada por la Ecuación 17.

$$HH_{\text{TOTAL}} = \sum_{i=1}^n HH_i + AD_{\text{Consumo Humano}} \quad (\text{Ec } 17)$$

Donde,

HH<sub>i</sub> es el Agua Virtual de a la producción de bienes del sector *i*.

AD<sub>Consumo Humano</sub> es el agua de consumo humano

Dividiendo este valor entre los habitantes se obtiene la Huella Hídrica per cápita.

### **Evolución de la Huella Hídrica de España y sus Comunidades Autónomas**

Con el fin de estudiar la evolución de la Huella Hídrica a través del tiempo para España y sus CC.AA. se ha calculado este nuevo indicador para los años 1996, 2001 y 2005. En líneas generales se ha utilizado la misma metodología para los tres años aunque en algunos casos la ausencia de datos o la existencia de discordancias en el formato de los mismos ha supuesto la realización de algunos pasos previos a la introducción de estos datos en el modelo. Los resultados obtenidos se recogen sintéticamente en la Tabla 3 y en el gráfico 1.

### **Agua gris**

Se denomina Agua gris al volumen de agua teórica que sería necesaria para diluir los contaminantes generados como consecuencia de los procesos productivos hasta concentraciones inferiores a su concentración máxima admisible según la legislación vigente más restrictiva. Es una forma de indicar, en unidades volumétricas de agua, el nivel de contaminantes que generan las actividades humanas pero, en ningún caso, es un agua que sea necesaria añadir al agua para mejorar su calidad.

Este indicador, adicional al de la Huella Hídrica (Agua verde más azul) permite analizar la evolución

**Tabla 3. Principales componentes de la Huella Hídrica de España y sus CC.AA. La muestra contabiliza el Agua azul y el Agua verde. Datos de Producto Interior Bruto. Evolución en los años 1996, 2001 y 2005.**

| CC.AA.                       | Año  | Import TOT (hm <sup>3</sup> ) | Export TOT (hm <sup>3</sup> ) | Balance neto comercio (hm <sup>3</sup> ) | AD per cápita (m <sup>3</sup> /hab y año) | HH per cápita (m <sup>3</sup> /hab y año) | PIB per capita (€) |
|------------------------------|------|-------------------------------|-------------------------------|--|---|---|--------------------|
| España                       | 1996 | 35.716                        | 13.751                        | 21.966                                   | 1.570                                     | 2.124                                     | 12.003             |
|                              | 2001 | 42.252                        | 22.200                        | 20.051                                   | 1.793                                     | 2.288                                     | 16.715             |
|                              | 2005 | 50.088                        | 16.722                        | 33.366                                   | 1.795                                     | 2.412                                     | 20.941             |
| Andalucía                    | 1996 | 12.027                        | 8.749                         | 3.279                                    | 1.745                                     | 2.198                                     | 8.937              |
|                              | 2001 | 14.208                        | 11.574                        | 2.634                                    | 1.909                                     | 2.265                                     | 12.363             |
|                              | 2005 | 13.916                        | 9.914                         | 4.002                                    | 1.882                                     | 2.392                                     | 16.261             |
| Aragón                       | 1996 | 1.791                         | 4.469                         | -2.678                                   | 3.970                                     | 1.714                                     | 12.988             |
|                              | 2001 | 2.159                         | 6.389                         | -4.230                                   | 5.537                                     | 2.010                                     | 17.468             |
|                              | 2005 | 2.448                         | 5.377                         | -2.929                                   | 4.428                                     | 2.120                                     | 22.359             |
| Asturias (Principado de)     | 1996 | 1.734                         | 565                           | 1.169                                    | 785                                       | 1.860                                     | 10.411             |
|                              | 2001 | 1.819                         | 1.123                         | 696                                      | 1.497                                     | 2.144                                     | 14.087             |
|                              | 2005 | 1.972                         | 883                           | 1.089                                    | 1.216                                     | 2.228                                     | 18.495             |
| Islas Baleares               | 1996 | 966                           | 269                           | 697                                      | 1.056                                     | 1.973                                     | 14.511             |
|                              | 2001 | 1.347                         | 127                           | 1.220                                    | 648                                       | 2.037                                     | 20.301             |
|                              | 2005 | 1.688                         | 156                           | 1.533                                    | 740                                       | 2.298                                     | 23.334             |
| Canarias                     | 1996 | 1.941                         | 91                            | 1.849                                    | 330                                       | 1.482                                     | 11.476             |
|                              | 2001 | 2.585                         | 175                           | 2.410                                    | 358                                       | 1.711                                     | 15.764             |
|                              | 2005 | 3.598                         | 107                           | 3.491                                    | 336                                       | 2.110                                     | 18.988             |
| Cantabria                    | 1996 | 912                           | 448                           | 464                                      | 1.133                                     | 2.012                                     | 11.043             |
|                              | 2001 | 958                           | 835                           | 123                                      | 1.994                                     | 2.223                                     | 15.896             |
|                              | 2005 | 1.066                         | 851                           | 215                                      | 1.952                                     | 2.334                                     | 20.630             |
| Castilla y León              | 1996 | 3.010                         | 6.699                         | -3.689                                   | 3.450                                     | 1.980                                     | 11.409             |
|                              | 2001 | 3.636                         | 8.759                         | -5.123                                   | 4.327                                     | 2.262                                     | 15.141             |
|                              | 2005 | 4.082                         | 9.049                         | -4.966                                   | 4.286                                     | 2.308                                     | 19.822             |
| Castilla-La Mancha           | 1996 | 2.425                         | 5.453                         | -3.028                                   | 3.769                                     | 2.001                                     | 9.868              |
|                              | 2001 | 3.074                         | 5.835                         | -2.761                                   | 3.930                                     | 2.357                                     | 13.138             |
|                              | 2005 | 3.276                         | 5.692                         | -2.416                                   | 3.667                                     | 2.392                                     | 16.359             |
| Cataluña                     | 1996 | 14.176                        | 3.975                         | 10.201                                   | 869                                       | 2.544                                     | 14.769             |
|                              | 2001 | 14.553                        | 4.685                         | 9.868                                    | 983                                       | 2.535                                     | 20.388             |
|                              | 2005 | 16.438                        | 4.648                         | 11.790                                   | 894                                       | 2.579                                     | 24.796             |
| Comunidad Valenciana         | 1996 | 7.578                         | 3.316                         | 4.261                                    | 1.042                                     | 2.104                                     | 11.426             |
|                              | 2001 | 9.075                         | 4.824                         | 4.251                                    | 1.002                                     | 2.013                                     | 16.155             |
|                              | 2005 | 9.690                         | 3.132                         | 6.558                                    | 871                                       | 2.268                                     | 19.327             |
| Extremadura                  | 1996 | 1.462                         | 5.473                         | -4.011                                   | 5.670                                     | 1.922                                     | 7.676              |
|                              | 2001 | 1.716                         | 6.564                         | -4.847                                   | 6.717                                     | 2.201                                     | 10.670             |
|                              | 2005 | 1.870                         | 7.081                         | -5.211                                   | 7.163                                     | 2.355                                     | 14.231             |
| Galicia                      | 1996 | 3.918                         | 3.711                         | 207                                      | 1.856                                     | 1.932                                     | 9.698              |
|                              | 2001 | 4.835                         | 3.940                         | 896                                      | 1.910                                     | 2.238                                     | 12.972             |
|                              | 2005 | 5.031                         | 4.270                         | 761                                      | 2.064                                     | 2.340                                     | 17.114             |
| Madrid (Comunidad de)        | 1996 | 11.764                        | 1.740                         | 10.023                                   | 246                                       | 2.242                                     | 15.729             |
|                              | 2001 | 14.162                        | 2.821                         | 11.341                                   | 297                                       | 2.408                                     | 22.573             |
|                              | 2005 | 15.782                        | 2.094                         | 13.688                                   | 280                                       | 2.575                                     | 27.343             |
| Murcia (Región de)           | 1996 | 2.223                         | 1.592                         | 631                                      | 1.437                                     | 2.012                                     | 9.895              |
|                              | 2001 | 3.258                         | 2.447                         | 811                                      | 1.415                                     | 2.097                                     | 14.013             |
|                              | 2005 | 4.180                         | 2.544                         | 1.636                                    | 1.264                                     | 2.489                                     | 17.665             |
| Navarra (Comunidad Foral de) | 1996 | 1.678                         | 2.132                         | -454                                     | 3.375                                     | 2.504                                     | 15.231             |
|                              | 2001 | 1.704                         | 2.189                         | -485                                     | 3.383                                     | 2.512                                     | 21.045             |
|                              | 2005 | 1.939                         | 2.173                         | -234                                     | 3.058                                     | 2.664                                     | 26.351             |
| País Vasco                   | 1996 | 3.805                         | 710                           | 3.095                                    | 612                                       | 2.088                                     | 14.248             |
|                              | 2001 | 4.133                         | 893                           | 3.240                                    | 793                                       | 2.334                                     | 20.493             |
|                              | 2005 | 4.859                         | 686                           | 4.173                                    | 624                                       | 2.588                                     | 26.553             |
| Rioja (La)                   | 1996 | 405                           | 456                           | -51                                      | 2.146                                     | 1.954                                     | 13.685             |
|                              | 2001 | 498                           | 491                           | 7  | 2.201                                     | 2.229                                     | 18.712             |
|                              | 2005 | 578                           | 392                           | 186                                      | 1.652                                     | 2.270                                     | 22.513             |

Fuente: elaboración propia y Contabilidad Regional del Instituto Nacional de Estadística.

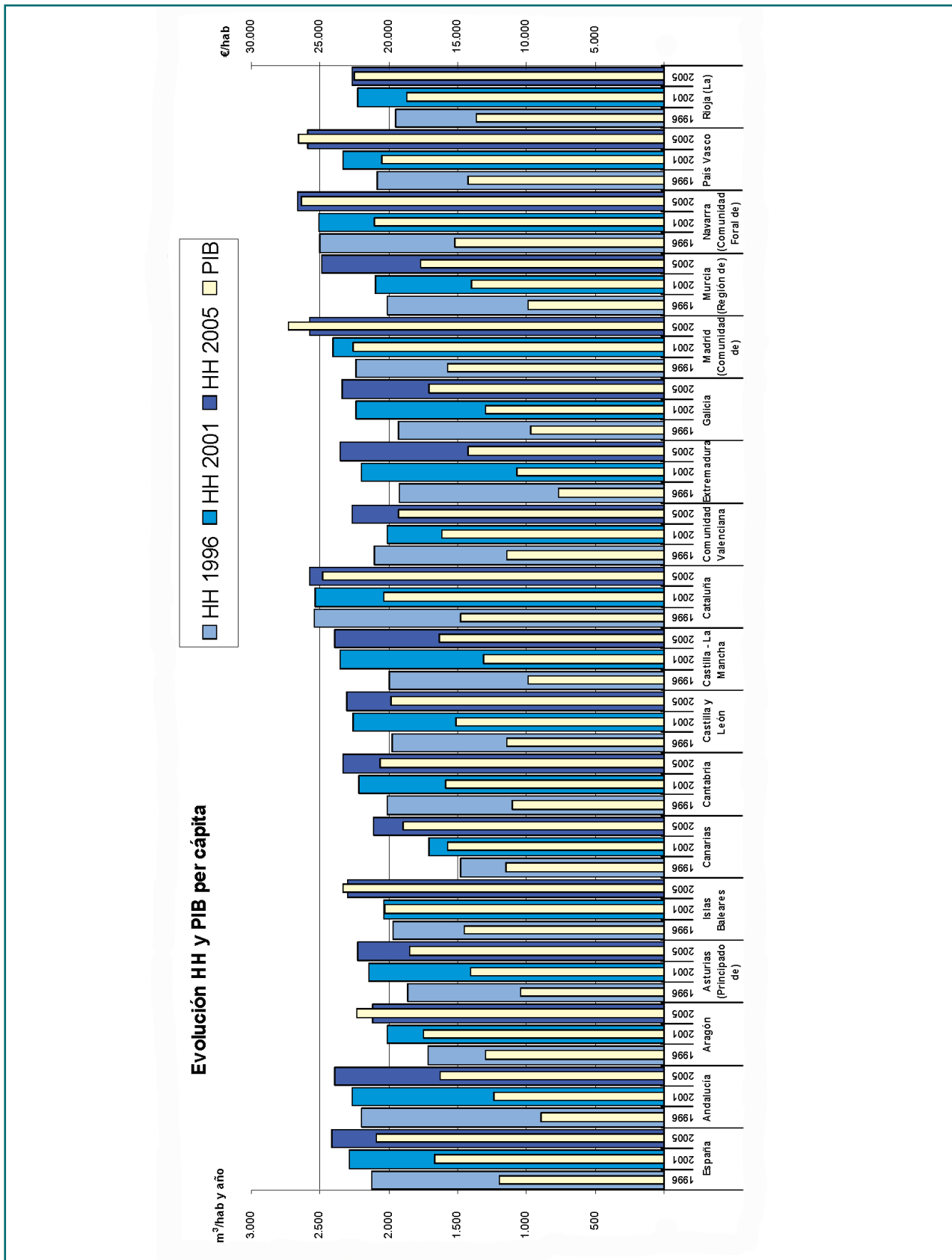


Gráfico 1  
Evolución de la Huella Hídrica (HH) de España y las CC.AA. per cápita y PIB per cápita para los años 1996, 2001 y 2005. La muestra contabiliza el Agua azul y el Agua verde.  
Fuente: elaboración propia.

temporal de la contaminación, asociado a la producción y consumo de los habitantes del territorio estudiado.

El procedimiento de cálculo del Agua Virtual gris es el mismo que el utilizado para determinar las Aguas Virtuales verde y azul a partir de sus correspondientes Aguas Directas, utilizando el *Modelo Input-Output* a partir de las TIO nacional y regionales.

De forma sintética se expone la metodología utilizada para la obtención del Agua Directa gris en cada uno de los sectores.

### Agricultura

En el sector agrícola, el Agua Directa gris es el volumen de agua que sería necesario añadir para diluir los contaminantes generados por la utilización de compuestos químicos en los terrenos agrícolas hasta concentraciones que no sobrepasen su concentración máxima admisible, entendida ésta como la máxima concentración de una sustancia a la que puede estar expuesto el medio durante un tiempo determinado sin que se produzcan efectos adversos, cuyos valores están regulados por la legislación vigente.

De todos los contaminantes analizados, se ha seleccionado el nitrógeno, por ser el más extendido y del que mayor información se dispone. La caracterización de este contaminante en función de los cultivos existentes en una zona determinada se ha realizado en base al "Balance de nitrógeno en la agricultura española" elaborado anualmente (MAPA, 2005). Este estudio proporciona información provincial sobre los excedentes de nitrógeno para distintas agrupaciones de cultivos (toneladas de nitrógeno por hectárea cultivada), considerando en su cálculo "el nitrógeno que entra" —fertilización mineral y orgánica, excrementos del ganado, fijación biológica, semillas y deposición atmosférica—, "el nitrógeno que sale" —extracciones por cosecha, volatilización y gases de cultivos, y volatilización y gases por pastoreo— y "residuos".

En base a lo anterior, el Agua gris de un determinado cultivo se ha calculado según las Ecuaciones siguientes:

$$AD_{gris} = \frac{C/c_{max}}{r} \quad (Ec.18)$$

y

$$AD_{gris\ agricultura} = (AD_{gris\ i} * Prod_i) \quad (Ec.19)$$

Donde,

C: cantidad de contaminante aportado por hectárea del cultivo i (t/ha y año).

$c_{max}$ : concentración máxima admisible de nitrógeno (t/m<sup>3</sup>).

r: rendimiento del cultivo i (t/ha y año).

Prod<sub>i</sub>: producción del cultivo i (t/año).

AD<sub>gris i</sub>: Agua Directa gris del cultivo i (m<sup>3</sup>/t).

### Ganadería

Según lo anterior, parte del nitrógeno que entra en el sistema es debido a la acción del ganado, directamente en forma de excrementos o bien más indirectamente como en el caso de la fertilización orgánica; de igual forma, en el "nitrógeno de salida" también se consideran procesos relacionados con el sector ganadero. En consecuencia, y dada la dificultad que plantea la separación de la parte del nitrógeno que corresponde al sector ganadero, principalmente debido a ajustes implícitos al procedimiento de cálculo del balance del nitrógeno difíciles de cuantificar, se ha decidido imputar el Agua gris de este sector al sector agrícola, aunque realmente se trate de un Agua indirecta.

### Selvicultura

En caso de la selvicultura no existe Agua Directa gris ya que sólo se considera que este sector utiliza Agua Directa verde.

### Industria y Sector Servicios

Para la estimación del Agua gris de la industria y los servicios es necesario conocer primero los volúmenes de agua vertida por cada sector. El agua utilizada por el sector servicios es vertida en su totalidad a la Red de Saneamiento Público, sin embargo, la del sector industrial puede ser vertida a la red pública o a "otros medios receptores". En ambos casos el Agua gris es una función del Agua azul utilizada por estos sectores.

Para estimar el Agua gris se ha utilizado la carga de contaminantes de cada tipo de vertido. Se ha establecido una carga de contaminante para los vertidos realizados a "otros medios receptores" y otra para los vertidos a "la Red Pública de Alcantarillado". En este último caso aparecen a su vez dos subtipos: los que son tratados previamente y los que no reciben tratamiento antes de verterlos a su destino final. La estimación del Agua gris a la

Tabla 4. Indicador Agua Directa gris, Huella Hídrica de España e Indicador del Agua Virtual gris de consumo interior, expresada en hm<sup>3</sup> totales, por sector, en el año 2001.

| SECTORES   | AD Gris (hm <sup>3</sup> ) | AV Gris de Consumo Interior (hm <sup>3</sup> ) | HH TOTAL        |
|--|----------------------------|--|-----------------|
| Agricultura  | 39.916,1                   | 35.187,4                                       | 34.689,3        |
| Ganadería y caza   | 0,0                        | 421,7  | 1.702,0         |
| Selvicultura y explotación forestal                                      | 0,0                        | 7,2  | 5.930,4         |
| Pesca  | 290,1                      | 400,2  | 121,2           |
| Extracción   | 1.338,6                    | 6.800,2  | 911,6           |
| Industria de la alimentación de la ganadería                             | 767,8                      | 4.822,7  | 13.387,0        |
| Resto Industria de la alimentación, bebidas y tabaco                     | 1.576,7                    | 10.541,9                                       | 9.844,3         |
| Industria textil, de la confección, del cuero y del calzado              | 1.137,4                    | 1.996,9  | 989,7           |
| Industria de la madera y del corcho                                      | 14,5                       | 59,0   | 465,6           |
| Industria del papel; edición, artes gráficas y reproducción              | 387,0                      | 350,5  | 1.097,4         |
| Refino de petróleo y tratamiento de combustibles nucleares               | 315,3                      | 320,9  | 72,3            |
| Industria química  | 4.081,7                    | 3.993,7  | 857,9           |
| Industria de la transformación de caucho y materias plásticas            | 1.060,2                    | 570,7  | 262,4           |
| Industrias de otros productos minerales no metálicos                     | 264,0                      | 146,3  | 47,3            |
| Metalurgia y fabricación de productos metálicos                          | 380,1                      | 723,5  | 318,6           |
| Industria de la construcción de maquinaria y equipo electrónico y óptico | 105,8                      | 1.356,2  | 573,2           |
| Fabricación de material de transporte                                    | 152,6                      | 1.044,6  | 405,0           |
| Industrias manufactureras diversas                                       | 82,7                       | 378,4  | 585,2           |
| Captación, depuración y distribución de agua                             | 0,0                        | 57,3   | 457,8           |
| Producción y distribución de energía, gas y agua                         | 4.694,0                    | 1.446,5  | 136,7           |
| Construcción   | 636,2                      | 2.828,3  | 1.842,4         |
| Actividades de tratamiento de aguas residuales y alcantarillado          | 2.439,7                    | 1.758,6  | 174,7           |
| Turismo  | 1.044,6                    | 1.268,4  | 535,2           |
| Restaurantes   | 8.021,4                    | 14.067,2                                       | 7.692,7         |
| Otras actividades económicas (servicios)                                 | 11.768,3                   | 14.753,3                                       | 7.142,9         |
|  | <b>80.474,8</b>            | <b>105.301,4</b>                               | <b>90.242,6</b> |
| <b>Consumo Humano</b>  | <b>33.448,3</b>            | <b>33.448,3</b>                                | <b>2.425,1</b>  |
| <b>TOTALES</b>   | <b>113.923,1</b>           | <b>138.749,7</b>                               | <b>92.667,7</b> |

Fuente: elaboración propia

red de alcantarillado se realiza con las ecuaciones siguientes:

$$\text{Agua gris}_{\text{depurada},i} = \frac{C_{\text{despues}} * \text{Agua vertida}_{\text{depurada},i}}{C_{\text{max}}}$$

(Ec.20)

$$\text{Agua gris}_{\text{sin depurar},i} = \frac{C_{\text{antes}} * \text{Agua vertida}_{\text{sin depurar},i}}{C_{\text{max}}}$$

(Ec.21)

Donde,  $C_{\text{max}}$  es la concentración máxima admisible del contaminante, es decir, la concentración a la que se desea diluir los contaminantes. Conceptualmente se refiere a retornar las aguas con la misma calidad con la que fueron captadas. Finalmente, sólo queda sumar ambas para conocer el Agua gris asociada a los vertidos que hace la Red Pública de Saneamiento al medio ambiente (ver Ecuación 22).

$$\text{Agua gris}_{\text{Red Pública},i} = \text{Agua gris}_{\text{depurada},i} + \text{Agua gris}_{\text{sin depurar},i}$$

(Ec.22)





En el caso de otros medios receptores el agua gris asociada a los vertidos industriales se puede calcular mediante la Ecuación 23.

$$\text{Agua gris}_{\text{otros medios},i} = \frac{C_{\text{vertido},i} * \text{Agua vertida}_{\text{otros},i}}{C_{\text{max}}}$$

(Ec.23)

En estos sectores el Agua gris total es el resultado de la suma de las Aguas grises vertidas a la red pública de alcantarillado para las aguas vertidas por la industria a otros medios (Ecuación 24).

$$\text{Agua gris}_i = \text{Agua gris}_{\text{Red Pública},i} + \text{Agua gris}_{\text{otros medios},i}$$

(Ec.24)

### Consumo humano y Turismo

Para la determinación del Agua Directa gris se ha utilizado el mismo procedimiento que el empleado en el caso de la industria y los servicios, al ser como aquéllos de similares características, variando sólo la carga y tipo de los contaminantes.

En base a lo anterior se ha podido determinar el Agua Virtual gris por sectores y desagregados por tipo de actividad a nivel nacional y regional. Los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 4, en la que, como referencia cuantitativa, se ha incluido el valor de la Huella Hídrica (Agua Virtual verde y azul) también especificada para cada uno de los sectores.

### Modelo de Simulación

Dentro de los objetivos de este estudio figura la creación de un Modelo de Simulación que permita al usuario calcular la Huella Hídrica de España, mediante la variación de parámetros influyentes en la agricultura, ganadería, silvicultura, turismo, industria y servicios, consumo humano y en los bienes procedentes del comercio exterior, generando diferentes escenarios posibles y permitiendo el análisis en profundidad de cada una de las hipótesis de estudio. Estos parámetros son, entre otros, la superficie de los cultivos españoles, el tipo de aprovechamiento ganadero o el tipo de alojamientos de una determinada categoría. La herramienta informática se ha diseñado lo más eficientemente posi-

ble evitando al usuario tener que trabajar con las TIO directamente.

La aplicación parte de información inicial resultante de la carga de datos correspondientes a los años 1996, 2001 y 2005. A partir de estos datos, y en base a la metodología de cálculo comentada, la aplicación permite estimar la Huella Hídrica tanto a nivel Autonómico como a nivel Nacional, así como el cálculo del Agua Directa asociada a cada uno de los sectores para los distintos casos.

De esta manera, se permite realizar diferentes simulaciones, para cada sector y a distintos niveles, y comparar los resultados entre la situación real y el resultado de la simulación. Es decir, la simulación se realiza eligiendo uno o varios sectores sobre los que se desea realizar los cambios y dependiendo del sector se selecciona la unidad geográfica sobre la que se puede actuar, que va desde el nivel municipal en agricultura hasta el nivel de Comunidad Autónoma en industria.

Con el fin de simplificar el manejo de la aplicación se ha estructurado en cuatro módulos: módulo de consulta de datos, módulo del simulador de PIB y HH, módulo de simulación y módulo de resultados.

### Conclusiones

El cálculo del indicador de la Huella Hídrica, tal y como se ha expuesto anteriormente, ofrece la posibilidad de evaluar la intensidad del uso y consumo del agua por la sociedad. Su carácter homogéneo y estándar permite realizar un seguimiento temporal para detectar sus variaciones ya sean motivadas por el progreso económico o por la modificación de las estructuras de producción y consumo.

El cálculo del indicador HH ha seguido el procedimiento estándar y por este motivo, es perfectamente comparable con otros indicadores realizados en otros países. Sin embargo, la adición del agua importada y la sustracción del agua exportada al agua directa de la producción, reduce el valor de este indicador para la gestión del medio físico hídrico, pues la presión sobre el medio tiene su origen en la demanda total interna de agua, ya sean los productos para consumo interno o para exportación. De igual forma, el agua virtual importada no supone presión alguna sobre el medio hídrico interno.

En la década 1996 a 2005, el indicador HH de España ha pasado de 2.124 a 2.619 m<sup>3</sup>/hab/año, lo que supone un incremento del 23%. En el mismo periodo, la renta per capita ha pasado de 12.003 a 20.941€/hab/año, que supone un incremento del 61%. Si bien en ambos casos se producen un incremento significativo, es notable la desvinculación del progreso económico con el uso del agua.

Como se ha podido observar, no hay apenas diferencias entre la HH de unos territorios a otros. Lo cual no debe sorprender al estar todos los consumos vinculados por el comercio tanto interregional como exte-

rior. No obstante, las Comunidades Autónomas de Andalucía, Castilla-La Mancha y Extremadura son las que mayor uso de agua por habitante y PIB generado, mientras que Aragón, Islas Baleares, Madrid y el País Vasco son las de menor uso de agua por PIB generado.

Estas diferencias hay que atribuirles fundamentalmente a especialización productiva y no tanto al aumento de nivel de desarrollo. En definitiva, la HH de las regiones está vinculada a los avances generales de la calidad de vida, a la estructura de productiva y, en menor medida, al aumento de rentas. ♦

#### Referencias:

- ALDAYA, M., LLAMAS, R. (2008) Water Footprint analysis (hydrologic and economic) of the Guadiana river basin within the NeWater project. Universidad Complutense de Madrid (UCM).
- ALLAN, J.A., (1998) Virtual water: A strategic resource, global solutions to regional deficits. *Groundwater* 36(4): 545-546.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. (2006) *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO, ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, Roma, 322pp. <http://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s.pdf>
- BICKNELL, K.B., BALL, R.J., CULLEN, R., BIGSBY, H.R. (1997) New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecological Economics* 27 (1998): 149-160.
- BROWN, L. (2006) *Livestock Watering Requirements. Quantity and Quality*. British Columbia: Ministry of Agriculture and Lands.
- DUARTE, R., SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J., BIELSA, J. (2002) Water use in the Spanish economy: an input-output approach. *Ecological Economics* 43 (2002): 71-85.
- FERN, J. (2001) Toward a scenario analysis framework for energy footprints. *Ecological Economics* 40 (2006): 53-69.
- GOBIERNO DE NAVARRA (2002) *Estudio de Valorización económica de las transacciones de agua entre subcuencas de la Comunidad Foral de Navarra*.
- GUAN, D., HUBACEK, K. (2005) Assesment of regional trade and virtual water flows in China. *Ecological Economics* 61 (2007): 159-170.
- HOEKSTRA, A.Y. y HUNG, P.Q. (2002) Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value of Water Research Report series No. 11*. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- HOEKSTRA, A.Y. y CHAPAGAIN, A.K. (2003) Virtual Water Flows Between Nations In Relation To Trade In Livestock and Livestock products. *Value of Water Research Report series No. 13*. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- HOEKSTRA, A.Y. y CHAPAGAIN, A.K. (2004) Water Footprint of Nations. Volume 1. Main Report. *Value of Water Research Report series No. 16*. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- HOEKSTRA, A.Y. y CHAPAGAIN, A.K. (2008) *Globalization of Water. Sharing the Planet's Freshwater Resources*. Ed Blackwell publishing. Oxford.
- IP, W.C., H. Wong, X. Jun, Y. Zhu and Q. Shao. (2007). *Input-output analysis of virtual water trade volume of Zhangye. Paper submitted to the Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand Inc.* (MSSANZ) Land, Water and Environmental Management: Integrated Systems for Sustainability Conference. December 2007. University of Canterbury, New Zealand.
- LEONTIEF, W. (1941) The Structure of American Economy, (1919-1929) An Empirical Application of Equilibrium Analysis. *Harvard University Press*. Cambridge.
- LEONTIEF, W. (1966) *Input-output economics*. Oxford University Press. Nueva York.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, MAPA (2005) *Balance del nitrógeno en la agricultura española*.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, MAPA (2003) *Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural*. Secretaría General Técnica.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO, MARM (2008) *Instrucciones de Planificación Hidrológica*.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO, MARM (2008) *Valoración de los activos naturales de España (VANE)*.
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, Y MEDIO RURAL Y MARINO, MARM (2008) *Informe integrado del Análisis Económico de los Usos del Agua artículo 5 y anejos II y III de la Directiva Marco de Agua*. [http://www.fundacion-biodiversidad.es/opencms/export/fundacion-biodiversidad/envios/portal\\_debate07.html](http://www.fundacion-biodiversidad.es/opencms/export/fundacion-biodiversidad/envios/portal_debate07.html)
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, MMA y Asistencia técnica para la realización de estudios de apoyo al desarrollo de los análisis económicos en el sector agrario para la aplicación de la directiva 2000/60/CE, de 23 de Octubre de 2000, (2004) *Caracterización de los usos del agua*.
- OKADERA, T., WATANABE, M., XU, K. (2005) Analysis of water demand and water pollutant discharge using a regional input-output table: An application to the City of Chongqing, upstream of Three Gorges Dam in China. *Ecological Economics* 58 (2006): 221-237.
- MILLER, R. E., P.D. Blair (1985). *Input-Output analysis: Foundations and Extensions*. Englewood Cliffs NJ: Prentice Hall.
- RODRÍGUEZ, C., LLANES, G. (2005) Multiplificadores domésticos SAMEA en un modelo multi-sectorial económico y ambiental de España. Estudios sobre la economía española. Fundación de Estudios de Economía Aplicada (FEDEA). EEE184. ISSN 1696-6384. <http://www.fedea.es/hojas/publicado.html>
- RODRÍGUEZ, R., GARRIDO, A., LLAMAS, M.R., VARELA-ORTEGA, C. (2008) *La Huella Hidrológica de la agricultura española*. Ed. Fundación Marcelo Botín. Santander. ISBN: 978-84-96655-25-6 <http://www.fundacionmbotin.org>
- SAN MIGUEL, A. (1997) *Pastizales naturales españoles. Caracterización, aprovechamiento y posibilidades de mejora*. ETSIM. Madrid, Fundación Conde del Valle Salazar, 101 pp.
- SAN MIGUEL, A., (2006) *Fundamentos de Alimentación y Nutrición del Ganado*. ETSIM. Universidad Politécnica de Madrid.
- VELÁZQUEZ, E. (2001). *El consumo de agua y la contaminación hídrica en Andalucía*. PhD dissertation. Sevilla: Universidad Pablo de Olavide.
- VELÁZQUEZ, E. (2003). Modelo Input-Output del Agua. Análisis de las relaciones intersectoriales del agua en Andalucía, Fundación Centra (2003) e2003/1.
- VELÁZQUEZ, E. (2006). An input-output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalucía. *Ecological Economics*, 56(2): 226-240.